

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

Departamento de Cirugía



TESIS DOCTORAL

**Interés clínico del os peroneum. Estudio anatómico,
radiológico, histológico y embriológico**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Vicente Guimerá García

Directores

María Teresa Vázquez Osorio

Marc Rodríguez Niedenföhr

Fernando Marco Martínez

Madrid, 2017

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA



TESIS DOCTORAL

**Interés clínico del os peroneum. Estudio anatómico,
radiológico, histológico y embriológico.**

Vicente Guimerá García

Madrid, 2015

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA



TESIS DOCTORAL

**Interés clínico del os peroneum. Estudio anatómico,
radiológico, histológico y embriológico.**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR

Vicente Guimerá García

Directores:

María Teresa Vázquez Osorio
Marc Rodríguez Niedenföhr
Fernando Marco Martínez

Madrid, 2015



Informe del Director de la Tesis Doctoral

DATOS DE LA TESIS DOCTORAL	
Nombre del Doctorando	VICENTE GUIMERÁ GARCÍA
Título de la Tesis	Interés clínico del os peroneum. Estudio anatómico, radiológico, histológico y embriológico
Facultad o Centro	MEDICINA

DATOS DEL DIRECTOR DE LA TESIS DOCTORAL	
Nombre Completo	MARIA TERESA VAZQUEZ OSORIO
Centro al que pertenece y dirección	FACULTAD DE MEDICINA-DEPARTAMENTO ANATOMIA Y EMBRIOLOGÍA HUMANAS-CIUDAD UNIVERSITARIA S/N 208040 MADRID
D.N.I./Pasaporte	02884491S
e-mail	tvazquez@ucm.es

	VALORACIÓN DE LA TESIS			
	Muy Buena	Buena	Suficiente	Deficiente
Originalidad	x			
Definición Objetivos	x			
Metodología	x			
Relevancia Resultados	x			
Discusión / Conclusiones	x			

INFORME (en caso necesario se podrán añadir más hojas): El doctorando ha realizado a lo largo de los últimos años un detallado análisis sobre el os peroneum contemplado desde diferentes puntos de vista. El trabajo que presenta para ser defendido como tesis Doctoral cumple con todos los requisitos exigibles.

- La introducción presenta una correcta actualización del tema, apoyada en una buena revisión bibliográfica.
- La hipótesis de trabajo es válida y conduce a unos objetivos realistas
- La exposición de los resultados, que es clara y concisa, se acompaña de un correcto estudio estadístico.
- La discusión, que está correctamente razonada y apoyada en los resultados, que arrojan datos suficientes que permiten probar la consecución de los objetivos

Madrid, a 10 DE octubre DE 2015

Fdo.: María Teresa Vázquez Osorio

Este impreso deberá entregarse al Departamento/Órgano responsable del Posgrado/ Comisión responsable del Programa Doctorado, para su estudio y aprobación en la admisión a trámite de la tesis doctoral. Asimismo, deberá incluirse entre la documentación enviada a la Comisión de Doctorado para la designación del Tribunal y aprobación de la defensa de la Tesis Doctoral.



Informe del Director de la Tesis Doctoral

DATOS DE LA TESIS DOCTORAL	
Nombre del Doctorando	VICENTE GUIMERÁ GARCÍA
Título de la Tesis	Interés clínico del os peroneum. Estudio anatómico, radiológico, histológico y embriológico
Facultad o Centro	MEDICINA

DATOS DEL DIRECTOR DE LA TESIS DOCTORAL	
Nombre Completo	MARC RODRIGUEZ NIEDENFÜHR
Centro al que pertenece y dirección	FACULTAD DE MEDICINA-DEPARTAMENTO ANATOMIA Y EMBRIOLOGÍA HUMANAS-CIUDAD UNIVERSITARIA S/N 208040 MADRID
D.N.I./Pasaporte	44011785C
e-mail	Mrniedenführ@hotmail.com

	VALORACIÓN DE LA TESIS			
	Muy Buena	Buena	Suficiente	Deficiente
Originalidad	x			
Definición Objetivos	x			
Metodología	x			
Relevancia Resultados	x			
Discusión / Conclusiones	x			

INFORME (en caso necesario se podrán añadir más hojas): La tesis es un trabajo serio y riguroso en toda su extensión.. Las hipótesis de trabajo, hechas desde un profundo conocimiento de la anatomía quirúrgica, junto con objetivos exigentes, pero bien adecuados, evidencian que el planteamiento se hace desde un exhaustivo conocimiento de la anatomía del cadáver y de la embriología humana. Consistentemente con ese planteamiento, la metodología, y el desarrollo de la misma, tanto en el material cadavérico como en el embrionario /fetal, están perfectamente planeadas y ejecutadas, adecuándose perfectamente al contraste de la hipótesis y la consecución de los objetivos. La consistencia de los resultados se mantiene a través de la discusión

Madrid, a 15 DE octubre DE 2015

Fdo.: Marc rodriguez Nidenführ

Este impreso deberá entregarse al Departamento/Órgano responsable del Posgrado/ Comisión responsable del Programa Doctorado, para su estudio y aprobación en la admisión a trámite de la tesis doctoral. Asimismo, deberá incluirse entre la documentación enviada a la Comisión de Doctorado para la designación del Tribunal y aprobación de la defensa de la Tesis Doctoral.



Informe del Director de la Tesis Doctoral

DATOS DE LA TESIS DOCTORAL	
Nombre del Doctorando	VICENTE GUIMERÁ GARCÍA
Título de la Tesis	Interés clínico del os peroneum. Estudio anatómico, radiológico, histológico y embriológico
Facultad o Centro	MEDICINA

DATOS DEL DIRECTOR DE LA TESIS DOCTORAL	
Nombre Completo	FERNANDO MARCO MARTÍNEZ
Centro al que pertenece y dirección	FACULTAD DE MEDICINA-DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA-CIUDAD UNIVERSITARIA S/N 208040 MADRID
D.N.I./Pasaporte	50418621-E
e-mail	fmarco@ucm.es

	VALORACIÓN DE LA TESIS			
	Muy Buena	Buena	Suficiente	Deficiente
Originalidad	x			
Definición Objetivos	x			
Metodología	x			
Relevancia Resultados	x			
Discusión / Conclusiones	x			

INFORME (en caso necesario se podrán añadir más hojas El trabajo científico cumple la metodología científica exigible:

- En la introducción se realiza una revisión bibliográfica muy actualizada
 - La hipótesis de trabajo es válida
 - El material y método es correcto y está definido con suficiente claridad para ser reproducido por otro investigador.
 - Los resultados se han presentado de forma concisa y clara en el mismo orden que en la sección de material y método.
 - La discusión esta correctamente estructurada y razonada.
 - Las conclusiones prueban la consecución de todos los objetivos planteados en el trabajo.
- Por tanto, el trabajo presentado reúne los requisitos científicos y formales para ser leído y defendido como Tesis Doctoral para optar a grado de Doctor en Medicina, siempre y cuando el Tribunal designado para tal efecto por la Universidad Complutense de Madrid, lo considere.

Madrid, a 10 DE octubre DE 2015

Fdo.: Fernando Marco Martínez

Este impreso deberá entregarse al Departamento/Órgano responsable del Posgrado/ Comisión responsable del Programa Doctorado, para su estudio y aprobación en la admisión a trámite de la tesis doctoral. Asimismo, deberá incluirse entre la documentación enviada a la Comisión de Doctorado para la designación del Tribunal y aprobación de la defensa de la Tesis Doctoral.

Agradecimientos

Gracias a todos mis maestros, jefes y amigos: Carlos, Pedro, José Luis, Miguel, Ángel, Emilio, Jose, Joan, Amaia, Jeff, Iain, Tim y John, por todo lo que me han enseñado sobre cirugía ortopédica y sobre la vida, por ser un ejemplo y modelo a seguir. Gracias a Alberto por todo lo que he aprendido de él y por animarme para hacer este trabajo. Gracias a todos los compañeros y amigos que he tenido estos años.

Gracias a José Ramón Sañudo, mi antiguo profesor de Anatomía en la Autónoma de Barcelona, por abrirme las puertas de su despacho y darme la oportunidad de emprender este proyecto. Gracias a Marc por la idea original y la dirección inicial, este trabajo es tuyo. Gracias al Dr. Marco por su generosidad y gracias a la Dra. Vázquez por su enorme paciencia y su gran ayuda. Muchas gracias en definitiva, a todo el grupo humano del UCM 920547.

Gracias a Leticia por su amor, apoyo, ánimo y comprensión en estos últimos meses. Gracias a mi hermano Jordi, que ahora inicia su tesis, estoy seguro que harás un excelente trabajo. Gracias a mi tío Pepe por su ejemplo, cariño y paciencia. Finalmente, gracias a mis padres Vicente y Pilar, por su ánimo constante para que empezara y acabara este trabajo, por su ejemplo, amor y abnegación hacia nosotros; por su impulso, por sus consejos, por todo. Sin vosotros, esto sí que no sería posible. Este trabajo es por y para vosotros, muchísimas gracias.

Ibiza, Octubre 2015.

ÍNDICE

I. Resumen	8
II. Abstract	11
1. Introducción	14
1.1.- Embriología	16
1.2- Anatomía	27
1.3- Patología asociada	37
1.4- Origen y papel del os peroneum	53
2. Hipótesis	60
3. Objetivos	61
4. Material y Métodos	62
5. Resultados	69
6. Discusión	92
7. Conclusiones	108
8. Bibliografía	110
Anexo	127

I. Resumen

Introducción

La articulación peroneocuboidea, entendida como la que se establece entre el tendón del peroneo largo y el hueso cuboides no ha sido anatómicamente bien definida ni en su desarrollo ni en su estado definitivo en el adulto. Por otro lado, la osificación del os peroneum (un sesamoideo dentro del tendón del peroneo largo) y su patología asociada han sido consideradas estar generadas por fuerzas mecánicas y/u ortostáticas.

Hipótesis

La estructura del os peroneum, de la articulación peroneocuboidea y de los ligamentos frenulares está presente en el periodo pre-ortostático, es decir en el periodo embrionario/fetal y por tanto su existencia no puede ser determinada únicamente por fuerzas mecánicas y puede estar determinada genéticamente.

Material y Métodos

Se llevó a cabo un análisis microscópico de secciones seriadas de pies de embriones y fetos humanos. Los pies adultos fueron analizados con técnicas de disección anatómica macroscópica estándar. También se realizaron análisis radiográficos e histológicos.

Resultados

El tendón del peroneo largo fue completamente visible hasta su inserción en el metatarsiano desde el estadio 23 (56-57 días). La cavidad peroneocuboidea se observó en la transición del periodo embrionario al fetal (8^a-9^a semana de gestación) independiente de la vaina tendinosa proximal. La cavidad articular se extendía desde el nivel de la articulación calcaneocuboidea hasta la inserción del tendón del peroneo largo en la base del primer metatarsiano. Los ligamentos frenulares, que fijan el tendón del peroneo largo al quinto metatarsiano o al ligamento calcaneocuboideo largo, se desarrollaron en el periodo embrionario. El tendón del peroneo largo presentaba un engrosamiento en el área que rodea al hueso cuboides en el periodo fetal. Este engrosamiento puede ser considerado como el precursor del os peroneum y era similar, en forma y tamaño en relación con el tendón, al os peroneum observado en adultos.

Conclusiones

Hasta donde sabemos, este es el primer estudio en demostrar que el os peroneum, las facetas articulares del peroneo largo y el hueso cuboides, la articulación peroneocuboidea y los ligamentos frenulares aparecen durante el periodo de desarrollo embrionario/fetal y por lo tanto no pueden ser generados exclusivamente por fuerzas ortostáticas o mecánicas o procesos patológicos.

Relevancia Clínica

La articulación peroneocuboidea puede presentar patología diferente a la que afecta a la vaina tendinosa proximal. La existencia de ligamentos frenulares de fijación puede enmascarar la migración del os peroneum tras una rotura del peroneo largo.

II. Abstract

Introduction

The peroneocuboid joint, between the peroneus longus tendon and the cuboid bone, has not anatomically well defined and no embryological study has been published. Furthermore, the ossification of the os peroneum (a sesamoid inside the peroneus longus tendon) and its associated pathology has been considered to be generated by orthostatic and/or mechanical loads.

Hypothesis

The os peroneum, peroneocuboid joint and frenulars ligaments structure is present in the pre-orthostatic period, that is the embryonic/fetal period and therefore its existence can not be exclusively determined by mechanical forces and maybe genetically determined.

Material and Methods

A light microscopy analysis of serially sectioned human embryonic and fetal feet was carried out. Also we analysed human adult feet by means of standard macroscopic dissection, X-ray and histological techniques have been carried out.

Results

The peroneus longus tendon has been fully visible until its insertion in the 1st metatarsal bone already at embryonic stage 23 (56-57 days). The peroneocuboid joint cavity appeared at the transition of the embryonic to the fetal period (8-9th week of gestation) and was independent of the proximal synovial sheath. The joint cavity extended from the level of the calcaneocuboid joint all the way to the insertion of the peroneus longus tendon in the 1st metatarsal bone. The frenular ligaments, fixing the peroneus longus tendon to the 5th metatarsal bone or the long calcaneocuboid ligament, developed in the embryonic period. The peroneus longus tendon presented a thickening in the area surrounding the cuboid bone as early as the fetal period. This thickening may be considered the precursor of the os peroneum and was similar in shape and in size in relation to the tendon, to the os peroneum observed in adults.

Conclusions

To the best of our knowledge, this is the first study to show that the os peroneum, articular facets of the peroneus longus tendon and cuboid bone, the peroneocuboid joint and the frenular ligaments appear during the embryonic/fetal period and therefore they can not be generated exclusively by orthostatic and mechanical forces or pathological processes.

Clinical relevance

The peroneocuboid joint may present distinct pathology to that affecting the proximal synovial sheath. The existence of fixing ligaments may mask proximal migration of an os peroneum after peroneus longus rupture.

1.- INTRODUCCIÓN

En la región lateral del mediopie, distal a la articulación entre el calcáneo y el cuboides, existe una íntima relación entre el tendón del músculo peroneo largo y la cara lateral e inferior del hueso cuboides. Esta región no ha sido anatómica ni embriológicamente bien descrita.

La patología relacionada con dicha región anatómica, que entra dentro del diagnóstico diferencial del dolor plantar lateral del pie, ha sido definida mediante varias entidades patológicas con diagnósticos diversos y a veces confusos (Sobel y cols.,1994).

Dentro de esta región cobra especial importancia la presencia de una estructura, con osificación radiológica variable que se halla en interior de la sustancia del tendón del peroneo largo, en el lugar en que se articula con el cuboides, llamada os peroneum, un osículo sesamoideo (Pfitzner, 1892, 1896; Bizarro, 1921; Holland, 1921; Burman y Lapidus, 1931; Siecke, 1964; Le Minor, 1987; Cilly y Akcaoglu, 2005; Coskun y cols., 2009; Muehleman y cols., 2009). Tanto su origen como su existencia han sido objeto de controversia, pero la opinión predominante es que su presencia está relacionada con fuerzas mecánicas asociadas a la deambulación y a la bipedestación (Le Minor, 1987).

A continuación, a modo de introducción, detallaremos la embriología y la anatomía de la región lateral del pie, la patología asociada a la región peroneocuboidea y las teorías existentes sobre el origen del os peroneum para justificar la realización del estudio y sus objetivos.

1.1- EMBRIOLOGÍA DE LA REGIÓN LATERAL DEL PIE.

El periodo embrionario se divide en 23 estadios (Figura1). Cada estadio corresponde a un nivel de desarrollo basado en un sistema de puntuación. Este método de clasificación e identificación embrionaria fue descrito inicialmente por Streeter en 1942, quien se refería a las diferentes etapas de desarrollo como horizontes, siendo desarrollado definitivamente por O'Rahilly y Müller (1987). Puede darse el caso que embriones de diferente longitud cráneo-caudal (en inglés crown-rump), pertenezcan al mismo estadio (O'Rahilly y Müller, 1987).

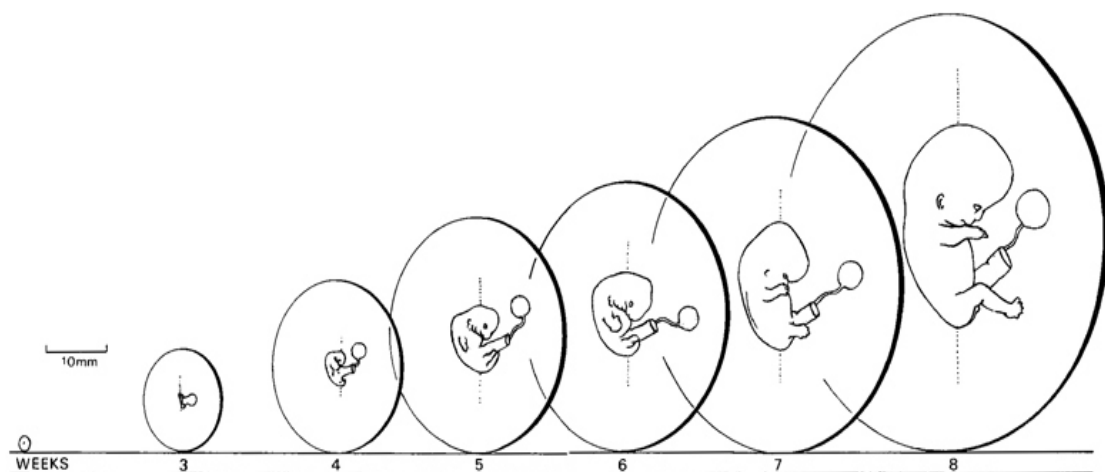


Figura 1. Tamaño relativo del embrión en intervalos semanales. Los estadios mostrados son 6, 10, 13, 16, 17, 20 y 23. Los dibujos están a escala aproximada de los especímenes reales (Tomado de O'Rahilly y Müller, 1987).

Antes del desarrollo de las extremidades es fundamental la formación de las tres capas germinales (ectodermo, mesodermo y endodermo) que proceden del disco embrionario. Este proceso se conoce como gastrulación y el disco embrionario se convierte de bilaminar a trilaminar. Es el inicio de la morfogénesis (desarrollo de la forma corporal) y sucede durante la tercera semana. El primer signo de la

gastrulación es la aparición de la línea primitiva en la superficie dorsal del disco embrionario (Figura 2). Cabe recordar que todos los tejidos conectivos, incluyendo cartílago, hueso, tendones, ligamentos y músculo esquelético provienen del mesodermo (Sadler, 2004).

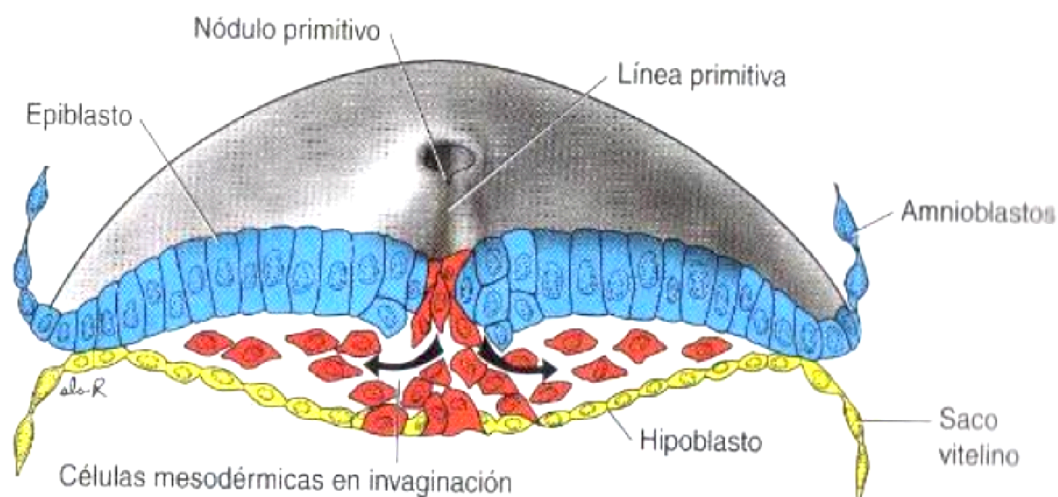


Figura 2. Aparición de la línea primitiva en la superficie dorsal del disco embrionario, mostrando el futuro ectodermo, mesodermo y endodermo (Tomado de Sadler, 2004).

Morfogénesis de los pies

Los esbozos de las extremidades superiores e inferiores aparecen como elevaciones de la pared mesodérmica ventrolateral aproximadamente en la cuarta semana del periodo embrionario, estadio 13 (28-32 días). Cada esbozo de extremidad consiste en mesénquima central cubierto por la cresta de Wolf, la cresta apical ectodérmica que es la plantilla para el crecimiento y desarrollo (Figura 3). Los esbozos de las extremidades superiores que proceden de los segmentos cervicales caudales, aparecen un poco antes, se diferencian antes y

alcanzan su tamaño final antes que los esbozos inferiores. Éstos últimos no igualan a los superiores en longitud hasta los dos años de edad. A partir de ahí crecen más rápido (Bernhardt, 1988).

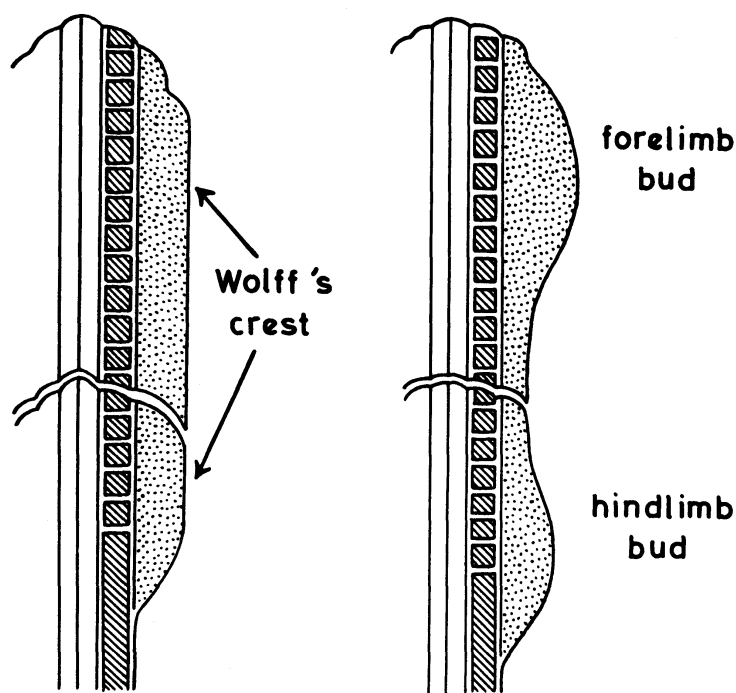


Figura 3. Cresta de Wolf y crecimiento inicial de los esbozos de las extremidades (Tomado de Bernhardt, 1988).

Durante el estadio 14 (31-35 días) el esbozo inferior aumenta de tamaño y durante el 15 extiende su base distalmente hacia los miotomos sacros y aumenta más su longitud. En el estadio 16 son visibles tres regiones, correspondientes al muslo, pierna y el pie. Estas tres regiones están localizadas en el mismo plano transversal el cual es perpendicular al plano del troco inferior (Sarrafian, 2012).

En el estadio 17 (11 a 13,5mm) correspondiente aproximadamente a la quinta semana de gestación (42-44 días) se puede reconocer un disco redondeado correspondiente a la placa del pie. La superficie del pie está localizada en el

plano transverso y la superficie ventral, la futura superficie plantar mira hacia la cabeza. Se produce una rotación interna del esbozo de la extremidad inferior y la futura superficie flexora se posiciona en el plano sagital del tronco. Desde la visión ventral, la rotación del pie es en el sentido horario en el lado derecho y en sentido anti horario en el izquierdo. Aún no están presentes los esbozos de los dedos, aunque embriones en el final de este estadio presentan un esbozo del dedo gordo en el borde tibial o pre axial. Durante la quinta semana de gestación, se produce la invasión vascular (Bernhardt, 1988).

A lo largo del estadio 18, (14 a 16mm), sexta semana de gestación, la rotación interna del segmento muslo y pierna continua aproximadamente hasta unos 90°. La superficie medial del pie se presenta en el plano mediano del tronco. El borde tibial o pre axial es craneal y el borde fibular o post axial es caudal. La superficie flexora es ventral y la extensora dorsal. El pie se alinea con el segmento tibial, apareciendo en equino y en inversión. Hacia el día 41 se pueden reconocer las condensaciones mesenquimales que supondrán las prolongaciones digitales. Durante el estadio 19 estas características se acentúan siendo las hendiduras digitales más profundas. Los rayos digitales son claramente visibles y se puede apreciar leves hendiduras entre ellos. Dichas hendiduras comienzan en el primer dedo progresando hacia el quinto. La muerte celular programada (apoptosis) tanto a nivel ectodérmico como mesodérmico, es la responsable de la aparición de hendiduras en las regiones interdigitales. (Sarrafian, 2012).

La condricificación, un modelo cartilaginoso del futuro esqueleto, comienza en la mitad de la sexta semana. Ésta ocurre inicialmente en el tarso, y progresivamente en el primer metatarsiano, del segundo a cuarto metatarsianos,

cuboides, quinto metatarsiano, escafoides y dedos del primero al quinto. La matriz mesenquimal comienza a diferenciarse en la musculatura de la extremidad inferior en un patrón de proximal a distal. Por ejemplo, los músculos peroneo corto y largo derivan de los extensores de los pies y del músculo tibial anterior, mientras que la musculatura intrínseca del pie es la última en formarse. La musculatura empieza a inervarse en una preparación para la futura contracción muscular. La osificación primaria empieza en el fémur (Bernhardt, 1988).

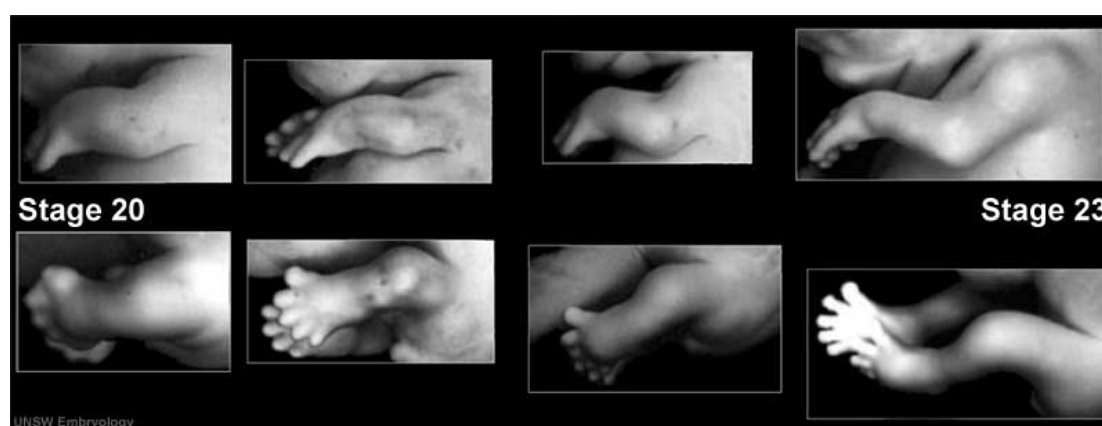


Figura 4. Orientación de las extremidades superiores e inferiores durante los estadios 20 y 23 (octava semana). Notar la rotación interna del esbozo inferior y externa del superior (Tomado de www.embryology.med.unsw.edu.au).

La mayor alteración entre la séptima y la octava semana es la rotación y la torsión de las extremidades inferiores hacia una posición similar a la de carga o deambulación. En la séptima semana las extremidades giran 90° alrededor de su eje en direcciones opuestas. Así el codo mira caudalmente mientras que la rodilla se orienta cranealmente. Las plantas de los pies se enfrentan una a otra en “posición de oración” estando en contacto entre sí. Esta torsión continua en la extremidad inferior durante la octava semana y el periodo fetal (Figura 4). El

estadio 23 marca el fin del periodo embrionario. Corresponde a una longitud cráneo-caudal de 30mm (Jaffe y Laitman 1982; Bernhardt, 1988; Sarrafian, 2012).

Durante el periodo fetal, ocurren importantes cambios rotacionales. Inicialmente, los pies presentan sus caras plantares enfrentadas y están en equino respecto a las piernas. Progresivamente ocurre una rotación interna del muslo y de la pierna y el pie se posiciona en equino, supinación y rotación externa respecto a la pierna. Posteriormente, el pie se flexiona dorsalmente y prona apareciendo en una posición similar a la neutral del adulto. En resumen el desarrollo intrauterino de la extremidad inferior consiste en crecimiento hacia fuera, rotación y desarrollo estructural morfológico regional (muslo, pierna y pie). La rotación ha hecho que un esbozo de pie plano que está orientado en el plano transversal se convierta en un pie más desarrollado orientado en el plano sagital. Se han descrito cuatro fases en el desarrollo del pie (Boehm, 1929):

- Fase uno (segundo mes): el pie está en 90º equino y en aducción.
- Fase dos (inicio del tercer mes): el pie está en 90º equino, aducido y marcadamente supinado.
- Fase tres (mitad del tercer mes): el pie flexiona dorsalmente en el tobillo, pero persiste cierto grado de equinismo. Persiste la supinación y el primer metatarsiano permanece aducido.

- Fase cuatro (Inicio del cuarto mes): el pie prona y alcanza una posición de medio supinación. Persiste cierto metatarso varo. El equino desaparece.
- La pronación continua durante el resto del desarrollo fetal y esta no es completa aún en el recién nacido.

La división del desarrollo del pie en cuatro fases o estadios tiene motivos académicos, ya que en realidad *“los cambios no ocurren con exactitud durante los límites de las fases, sino que es un proceso gradual de transformación continua”* (Boehm, 1929).

Desarrollo esquelético inicial

Existen tres fases en el desarrollo óseo: mesenquimal, cartilaginosa y ósea.

La fase mesenquimal se puede apreciar en los estadios 17 y 18 donde la placa del pie está presente. El mesénquima axial se condensa y se diferencia inicialmente en modelos de falanges en los rayos digitales. Posteriormente se condensa el mesénquima del tarso.

En la fase cartilaginosa se forman células condrales en la condensaciones mesenquimales. La condricación del pie se inicia en el estadio 18 y el último elemento, excluyendo los sesamoideos, se condrica en el estadio 23, lo que representa el final del periodo embrionario. Los tres metatarsianos centrales se condrican primero, seguidos del quinto metatarsiano y del cuboides. Se puede apreciar una masa condroide en el cuboides a partir del estadio embrionario 20. Se observa una cuña de extensión anteromedial que contacta con el tercer y

cuarto metatarsiano. A los 34mm de longitud, el cuboides parece con forma cuneiforme y se articula oblicuamente con la superficie anterior del calcáneo (Sarrafian, 2012). La condricación del tarso continua con el calcáneo, el astrágalo y la segunda y tercera cuñas. El escafoides es el último elemento tarsiano en condricarse, posteriormente le siguen las falanges. La secuencia cronológica de la condricación ocurre en 14 estadios (Senior, 1929).

La fase de osificación se inicia en el periodo fetal con la aparición de los núcleos de osificación primarios. Existen, sin incluir a los huesos accesorios y sesamoideos, potencialmente 46 centros de osificación en el pie. De estos, 26 son primarios y 20 secundarios. Muchos de los centros primarios aparecen durante el periodo fetal y el resto no se desarrollan hasta después del nacimiento. La aparición de los centros secundarios se intercala con la aparición de centros primarios (Scheurer y cols., 2000; Rehman 2014).

Durante el periodo fetal la osificación comienza inicialmente en los metatarsianos, seguido de cerca por las falanges distales, proximales y finalmente las falanges medias. La osificación ocurre de manera lenta en el pie. Después de la osificación inicial de falanges y metatarsianos, no aparece más osificación primaria hasta la semana 20 a 24 siendo el calcáneo el primer hueso en osificarse, seguido del astrágalo en la semana 32. El centro de osificación del cuboides aparece aproximadamente 21 días tras el nacimiento, aunque puede comenzar la osificación antes del nacimiento. Lo que parece claro es que la presencia o ausencia del centro de osificación del cuboides no es un indicador fiable de un feto completamente a término (Bernhardt 1988, Scheurer y cols., 2000).

Desarrollo fetal

Durante la fase de desarrollo fetal continúan los cambios morfológicos. El astrágalo no crece uniformemente en todas las direcciones, creciendo más rápidamente en altura que en longitud. El astrágalo sufre una migración lateral de la porción cabeza-cuello, es uno de los factores que explican la corrección de la supinación del pie (Sarrafian, 2012).

El calcáneo del feto presenta un cuerpo corto, pero posteriormente crece más rápidamente su segmento posterior contribuyendo a la eficiencia mecánica del tríceps sural. El calcáneo migra de una posición paralela hacia plantar con respecto al astrágalo, estableciendo la articulación subastragalina. Entonces, la tibia y la fibula articulan únicamente con el cuerpo del astrágalo, formando la articulación del tobillo aproximadamente a partir de la 9ª semana de gestación (Bernhardt, 1988).

Los sesamoideos aparecen como un blastema condensado a las 8 semanas y como cartílago a las 12 semanas. Permanecen en estado cartilaginoso durante todo el periodo prenatal. Dos sesamoideos están presentes de manera regular en la articulación metatarsofalángica del primer dedo. El sesamoideo lateral aparece primero en el tercer mes seguido una semana más tarde por el sesamoideo medial que puede ser bipartito (Sarrafian, 2012). Se ha detectado un análogo cartilaginoso del os trigonum en fetos de dos meses (Bardeleben, 1885). No hemos encontrado ninguna referencia del desarrollo embrionario-fetal respecto al os peroneum.

En cuanto al desarrollo de las articulaciones del pie, cabe destacar que están formadas inicialmente por condensaciones celulares homogéneas en las interzonas entre esbozos condroides, donde posteriormente aparecen cavidades en su interior y se revisten de tejido sinovial. Las interzonas aparecen en el pie en el estadio 20 en las articulaciones metatarsofalángicas. Al final del periodo embrionario (estadio 23) muchas de las interzonas aparecen todavía sin cavidad siendo aún homogéneas (Sarrafian 2012). Entre la séptima y la novena semana aparecen las cavitaciones en la mayoría de las articulaciones, es decir durante el tercer mes. Estas cavitaciones aparecen cuando desaparece el mesénquima, pero si la disolución de éste no es completa, la articulación puede contener un menisco rudimentario o disco. Las células periféricas permanecen contiguas al periostio para formar la cápsula y el cartílago original de la masa condroide se transforma en cartílago articular. La cavidad finalmente se rellena de fluido. Es en este momento cuando los músculos inician su función, un momento crucial para el desarrollo normal de las articulaciones del pie (Starck 1955; Bernhardt, 1988). No hemos encontrado ningún trabajo sobre el desarrollo de la articulación peroneocuboidea.

Entre la 10ª y la 12ª semana se produce la inervación de los músculos peroneo largo y corto, del tibial anterior y del extensor de los dedos (L4-5, S1). En este momento el pie comienza a flexionarse dorsalmente desde su posición en inicial en equino, aunque sigue en inversión. A las 16 semanas, los pies no están en contacto entre sí y las piernas se cruzan a nivel de los tobillos. Se mantendrán en esta posición hasta el séptimo mes de gestación. Los pies a la vez, comienzan su eversión desde su posición de inversión. Además, ocasionado por el inicio de la

contracción muscular de los peroneos, la eversión también es posible debido a los cambios a nivel óseo del complejo astrágalo-calcáneo, detallados previamente. Alrededor de la semana 28 los pies están posicionados contra la pared uterina y permanecerán en esa posición hasta el nacimiento (Bernhardt, 1988).

Crecimiento del pie

La medición del pie es sólo posible cuando el embrión alcanza una longitud cráneo-caudal de 24mm, a partir del estadio 21. En la fase fetal inicial (30-60mm) el pie crece a menor velocidad que cuerpo. El incremento en longitud del pie es lento entre la 8ª y la 14ª semana, posteriormente es más rápido hasta la semana 26 y se enlentece levemente hasta estar el feto a término. El crecimiento en longitud medio desde la semana 14 es de alrededor 3mm por semana. Al final del tercer mes, el pie mide de media 0,8 cm y a término la longitud media es de 7,6 cm. El pie fetal se estrecha gradualmente durante el crecimiento y permanece más largo que en adulto en comparación con la longitud correspondiente de la tibia. El ratio mayor de la longitud del pie/longitud tibial es de 1,41 a las 8 semanas, 0.9 en el nacimiento y 0,6 en el adulto (Scammon y Calkings, 1929).

1.2- ANATOMÍA DE LA REGIÓN LATERAL DEL PIE.

El músculo peroneo largo se origina en la cabeza del peroné, en la mitad/tercio superior de la diáfisis del peroné y en el tabique intermuscular de la pierna. Está inervado por el nervio peroneo superficial (L5, S1, S2) aunque también puede recibir innervación adicional del nervio peroneo común o profundo (L5, S1, S2). Es irrigado por la arteria tibial anterior y la arteria peronea (Philbin y cols., 2009).

El vientre muscular presenta una dirección inferior siguiendo el surco de la fibula, siendo lateral a la tibia en su tercio medio y posterior al tendón del peroneo corto en la cara posterior del maléolo lateral. Su tendón pasa por la cara lateral del calcáneo a nivel del tubérculo peroneo. Posteriormente, gira oblicuamente pasando hacia la cara plantar y distal del pie a nivel del hueso cuboides hasta su inserción en la región de la base del primer metatarsiano (Mann y Haskell, 2007).

Los músculos peroneo corto y largo comparten una vaina sinovial común desde 4 cm proximal a la fibula distal hasta que se bifurca al nivel del tubérculo peroneo distalmente. La vaina pasa a través de un túnel fibro-óseo constituido a nivel retromaleolar anterior por la cara posterior de la fibula, posteriormente por el retináculo fibular superior y más distalmente por el retináculo fibular inferior. El retináculo fibular superior actúa como el estabilizador primario a la luxación tendinosa. Se han descrito 5 variaciones anatómicas en la inserción del retináculo fibular superior (Davis y cols., 1994). El retináculo fibular inferior es distal a la punta del maléolo lateral. (Figura 5).

El surco en la parte posterior de la fíbula distal es típicamente cóncavo con una anchura de 5 a 10 mm y una profundidad de hasta 3 mm (Mann y Haskell, 2007). La falta de concavidad puede predisponer a la luxación tendinosa (Edwards, 1988).

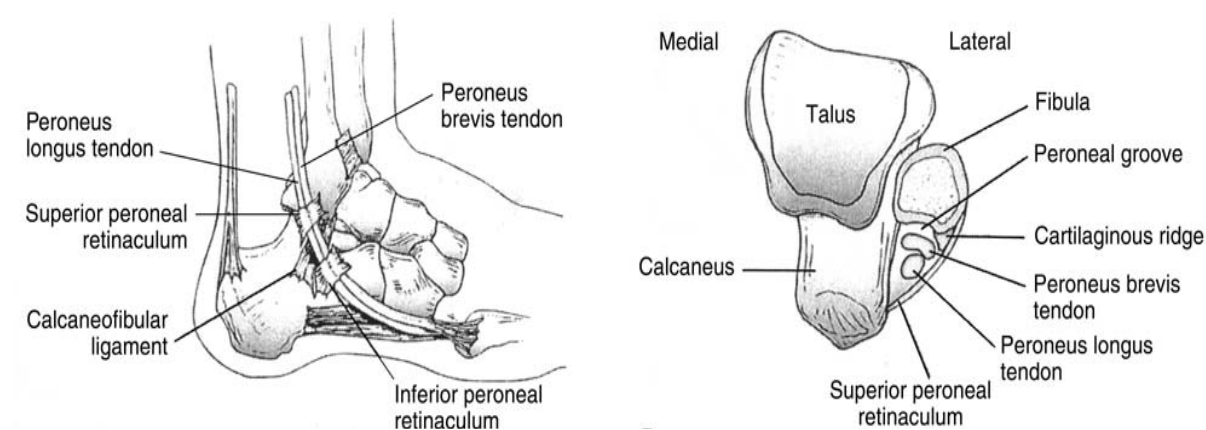


Figura 5. Visión lateral del tobillo mostrando los tendones peroneos bajo los retináculos superior e inferior. Visión superior mostrando la posición del tendón del músculo peroneo corto anterior al peroneo largo. (Tomado de Philbin y cols., 2009).

El calcáneo en su cara lateral, presenta un proceso llamado tubérculo peroneo. Sus dimensiones son: longitud-máximo 17mm, mínimo 2mm; altura-máximo 7mm, mínimo 1mm. En la parte inferior y posterior del tubérculo se desliza el tendón del peroneo largo y se puede observar un surco en la cara lateral del calcáneo para él. Este surco puede estar presente en ausencia de tubérculo peroneo (Sarrafian y Kelikian, 2012).

Siguiendo en dirección distal en la cara lateral del pie, se halla el hueso cuboides intercalado entre el calcáneo y la base de los metatarsianos 4º y 5º. Da soporte a la cuña lateral y puede entrar en contacto con el escafoides. Tiene un aspecto cuneiforme más que cuboideo puesto que las superficies plantares y dorsales se

inclinan hacia lateral y también presenta un surco para el tendón del peroneo largo (Sarrafian y Kelikian, 2012).

Antes de su inserción, el tendón del peroneo largo atraviesa otras estructuras óseas en el compartimento profundo de la planta del pie. La más significativa se encuentra en la región plantar y lateral del hueso cuboides, el llamado túnel cuboideo. Es en esta región donde el tendón del peroneo largo realiza un giro sobre la cara lateral y plantar del cuboides de lateral a medial y de posterior a anterior para dirigirse hacia la base del primer metatarsiano. En esta zona del giro, presenta una morfología fibrocartilaginosa. El tendón se desliza en la convexidad anterior de la tuberosidad cuboidea, actuando como una articulación “deslizante”. Esta morfología fibrocartilaginosa es típica de los tendones que actúan como poleas doblándose para adquirir ventaja mecánica (Sarrafian, 1993; Benjamin y Ralphs, 1998).

El tendón del peroneo largo se inserta normalmente en la base del primer metatarsiano, en la cara plantar de la primera cuña y detrás de la cabeza, en la cara súpero-lateral del primer metatarsiano habiéndose descrito diferentes incidencias para estas inserciones; primera cuña y base de primer metatarsiano, 95%; primera cuña y cabeza del primer metatarsiano, 89%; y base del primer metatarsiano, 5,5% (Picou, 1894). La banda del primer metatarsiano surge del borde anterior del tendón en dirección hacia la base del segundo metatarsiano. Se adhiere muy débilmente en el segundo metatarsiano y cambia su dirección hacia la cabeza del primer metatarsiano dando inserción al primer músculo interóseo dorsal insertándose unos 10mm detrás de la cara lateral de la cabeza del primer metatarsiano. La banda de la primera cuña surge de la superficie

dorsal del tendón del peroneo largo a nivel del sesamoideo en el túnel cuboideo para terminar en la cara plantar de la primera cuña (Picou, 1894).

Más recientemente, se han descrito en detalle las inserciones del tendón del peroneo largo. En 30 especímenes disecados, el 100% presentaban una inserción en la base del primer metatarsiano mediante una banda fuerte. La banda para la cuña medial fue documentada en un 86,6%. Se observaron bandas de inserción adicionales en el cuello del primer y del segundo metatarsiano y las bases del cuarto y quinto metatarsiano de un 10% a un 23,3% respectivamente (Patil y cols., 2007).

Junto con el peroneo corto, el peroneo largo es un evertor principal del pie, ayuda en la flexión plantar del pie y tobillo y es un flexor primario del primer metatarsiano antagonizando o compensando la fuerza elevadora e inversora del tendón del músculo tibial anterior. También es la estructura que más resiste las fuerzas en varo sobre el primer metatarsiano. Cualquier pérdida de estabilización parcial o completa del primer metatarsiano por parte del peroneo largo puede llevar a la aparición de metatarsus primus varus (Bohne y cols., 1997). Esta deformidad comúnmente coincidente con la más conocida hallux valgus, que define la desviación lateral y en valgo del primer dedo, se refiere a la desviación en varo del primer metatarsiano con respecto al segundo. El peroneo largo es además estabilizador de los arcos longitudinal y transversales del pie. Estas múltiples funciones se deben a que atraviesa varias articulaciones. Junto con el peroneo corto, está implicado también en mantener la concavidad del pie al estar de puntillas y en la fase de despegue del ciclo de la marcha (Gray, 1995).

En la región del túnel cuboideo, a nivel de la articulación calcáneo-cuboidea y en la intrasustancia del tendón del peroneo largo se encuentra el os peroneum. Descrito inicialmente por Vesalius en 1555, como un osículo accesorio o sesamoideo, no fue hasta 1896 que Pfitzner lo describió con más detalle. A pesar de 400 años de observación, el origen y el papel de este osículo aparecen rodeados de incerteza.

El os peroneum es un osículo sesamoideo yuxta-articular que se encuentra en la sustancia (intratendinoso) del tendón del peroneo largo a su paso por la cara lateral hueso cuboides y por la articulación calcáneocuboidea. La osificación radiográfica ha variado según varios autores, desde el 4% hasta el 30%, puede ser bilateral en el 60% (Thompson y cols., 1989; Sobel y cols., 1994; Brandes y Smith, 2000; Heckman y cols., 2009; Sammarco y cols., 2010;). Esta osificación se observa en las radiografías como forma bipartita, multipartita (30%) o completa (Figura 6). Según algunos autores, “el os peroneum está siempre presente en un estado osificado, cartilaginoso o fibrocartilaginoso” (Sarrafian y Kelikian, 2012). Esta afirmación es apoyada por otros autores que reportan una incidencia del 90%, aunque no usaron estudios histológicos o radiográficos para diferenciar el estado fibrocartilaginoso u óseo del os (Oyedele y cols., 2005). También ha sido definido como un sesamoideo normalmente presente en el tendón del peroneo largo a nivel del túnel cuboideo que puede ser fibrocartilaginoso u óseo (Patil y cols., 2007).



Figura 6. Proyección oblicua del pie que muestra un os peroneum multipartito a nivel de la articulación calcáneoscudobidea. (Tomado de Oh y cols., 2012).

El os peroneum y el tendón del peroneo largo están íntimamente asociados con la pared lateral del calcáneo y la superficie lateral y plantar del cuboides en el túnel cuboideo. Han sido descritos unos ligamentos/bandas de sujeción llamados ligamentos frenulares anterior y posterior que se extienden desde el tendón del peroneo largo y os peroneum hacia estructuras adyacentes como la base del quinto metatarsiano, la fascia plantar y el ligamento calcaneocuboideo (Figura 7) (Stieda, 1889a,b,c; Picou 1894b; LeDouble 1897; Drexler, 1958, Sobel y cols., 1994).

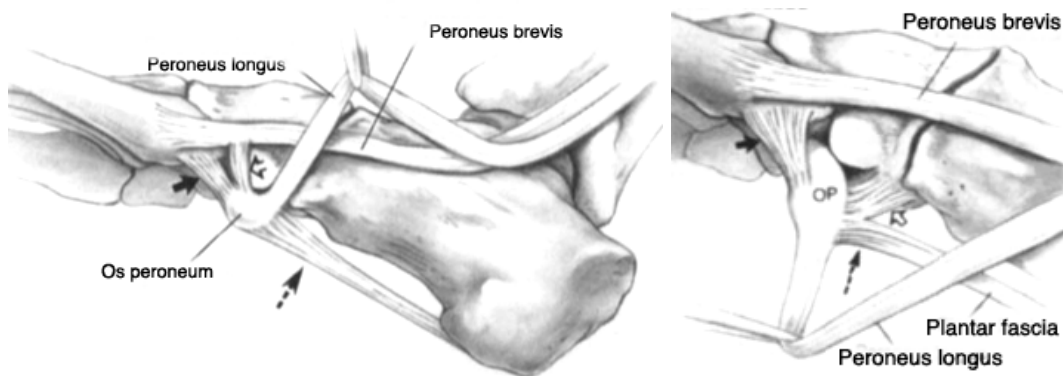


Figura 7. Ilustración que muestra la banda de fascia plantar (flecha negra interrumpida); ligamento frenular anterior (flecha negra sólida) y una banda adicional al tendón del peroneo breve (flecha blanca) (Tomado de Sobel y cols., 1994).

El ligamento frenular anterior ha sido descrito como una expansión fibrosa que conecta el tendón del peroneo largo a nivel del os peroneum a su paso por el cuboides con la base del quinto metatarsiano y con el origen del flexor corto del quinto dedo. El ligamento frenular posterior es una banda fibrosa fina que une el borde posterior del tendón del peroneo largo con el cuboides y el ligamento calcáneos cuboideo (Sarrafian, 1993). La incidencia de los ligamentos frenulares anterior y posterior ha sido descrita de 80% a 63% y de 13% a 10%, respectivamente (Picou, 1894; Sarrafian, 1993). En el último estudio al respecto, se encontró el ligamento frenular anterior en el 83,3% y el posterior en el 13,3% de los casos. Se observó que muchos músculos tenían parte de su origen en el ligamento frenular anterior. Éstos fueron el cuarto interóseo dorsal, el tercer interóseo plantar y el flexor corto del quinto dedo (Patil y cols., 2007).

El tubérculo peroneo, en la cara anterolateral del calcáneo y distal a éste, la faceta articular peronea, presentan una zona cartilaginosa bien desarrollada que articula con el tendón peroneo largo. Asimismo el hueso cuboides, en su cara

plantar, presenta una faceta que articula con el os peroneum cuando el tendón del peroneo largo cambia de dirección hacia su inserción distal. Esta última región ha sido descrita como la articulación sinovial peroneocuboidea (Figura 8) (Ebraheim y cols., 1999).

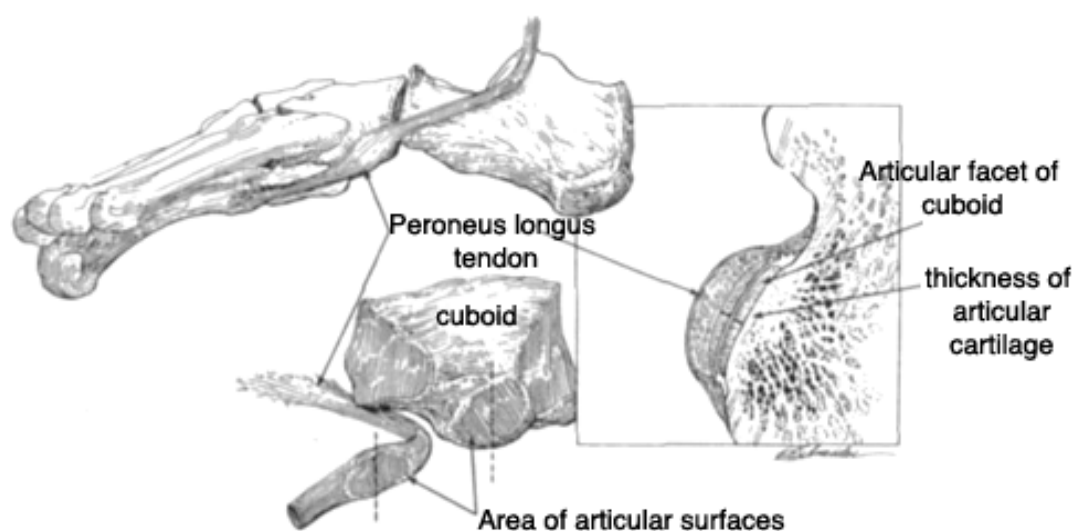


Figura 8. Medidas tomadas de la articulación peroneocuboidea. Grosor y área de los cartílagos de la superficie medial del peroneo largo y la tuberosidad lateral del cuboides. (Tomado de Ebraheim y cols., 1999).

Según la descripción inicial de la articulación peroneo-cuboidea, sus superficies articulares son ovales y prácticamente paralelas al eje del tendón del peroneo largo. La superficie articular en la superficie del tendón es redonda y levemente cóncava mientras que la superficie articular equivalente en el cuboides es también oval/redonda y levemente convexa. Dichas superficies están orientadas 15° relativos a los planos coronal y sagital y 45° relativos al plano transversal. La superficie articular tendinosa está cubierta de cartílago fibroso/fibrocartílago, sin embargo la tuberosidad lateral del cuboides está recubierta de cartílago hialino. La superficie articular media varía entre 67,35mm² y 79,32mm²

mientras que el grosor medio del cartílago en el lado tendinoso es 0,34mm y en el lado del cuboides de 0,52mm. Un dato interesante destaca en la descripción capsular, la articulación peroneocuboidea presenta una fina cápsula de membrana sinovial que no comunica con otras articulaciones tarsianas ni tampoco con la vaina sinovial proximal del tendón del peroneo largo. La existencia de esta articulación podría influir en los diversos procesos patológicos descritos en la literatura (Ebraheim y cols., 1999).

Recientemente, se ha documentado la prevalencia y parámetros como la longitud, anchura y grosor del os peroneum en un estudio sobre 36 cadáveres. Se disecaron las regiones lateral y plantar del pie para exponer el tendón del peroneo largo y el os peroneum, posteriormente se sometieron a mediciones diferenciando derecha de izquierda, estudios histológicos y radiológicos. Se describe el hallazgo de un ensanchamiento aplanado y ovalado (os peroneum) en todos los tendones examinados. La superficie articular del os peroneum fue cóncava, lisa y en algunos casos dividida en dos, siendo el primer estudio en describir este tipo de facetas. Se ha descrito una superficie articular recíproca en el cuboides en la parte proximal del túnel cuboideo que incluso en algunos casos se extendía al calcáneo formando una articulación sinovial. La longitud media del os peroneum era de 13.35mm, la anchura media de 8.96mm siendo el grosor medio de 4.11mm. La incidencia de facetas articulares dobles o divididas en el os peroneum fue más común en el lado derecho (25.80%) que en el izquierdo (16.20%). La incidencia radiográfica fue del 35%. En cuanto al estudio histológico se encontró tanto hueso esponjoso, fibrocartílago y fibras de colágeno engrosadas, sin precisar la incidencia concreta. Este estudio afirma que

el os peroneum, a pesar de ser encontrado en todos los especímenes, fue fibroso, cartilaginoso u óseo y que por tanto, debería llamarse Sesamoideo Peroneal en lugar de os peroneum a fin de evitar confusiones (Figura 9) (Mittal y cols., 2014).

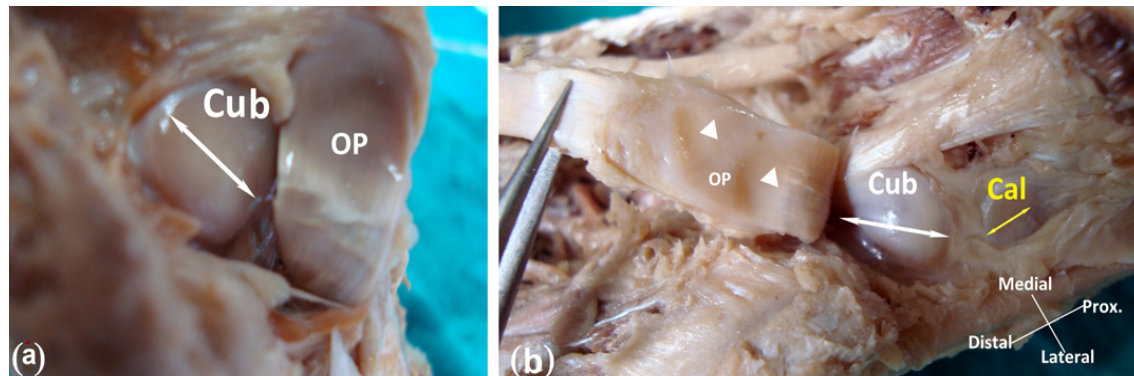


Figura 9. a) Faceta articular de cuboides y os peroneum. b) Doble faceta articular en os peroneum (cabezas de flecha) y facetas articulares en cuboides (flecha blanca) y calcáneo (flecha amarilla). (Tomado de Mittal y cols., 2014).

1.3- PATOLOGÍA ASOCIADA AL OS PERONEUM Y A LA

ARTICULACIÓN PERONEOCUBOIDEA.

La patología de los tendones peroneos no es infrecuente aunque suele pasar desapercibida siendo comúnmente infradiagnosticada. Son lesiones que deben sospecharse en todo paciente que presenta dolor crónico lateral de tobillo, especialmente los que cuentan historia de esguince de tobillo. Hasta un 40% de los pacientes con esguinces de tobillo puede desarrollar dolor lateral de tobillo crónico. El diagnóstico diferencial del dolor lateral de tobillo es extenso y son necesarios una exploración e historia clínicas detalladas, pruebas complementarias de imagen y un conocimiento de la anatomía para identificar la fuente de dolor y dirigir el tratamiento hacia las roturas tendinosas, luxaciones o subluxaciones, tenosinovitis, etc. (Philbin y cols., 2009).

Tenosinovitis

Las tenosinovitis de los tendones peroneos normalmente son el resultado de actividad física repetitiva y prolongada aunque también puede ocurrir tras traumatismos directos. Algunas variaciones anatómicas como un tubérculo peroneo hipertrofiado puede predisponer a la estenosis y al desarrollo de tenosinovitis (Sarrafian, 1993; Geller y cols., 2003). Los pacientes refieren dolor, inflamación y presentan dolor a la palpación sobre los tendones peroneos en el aspecto póstero-lateral del tobillo. La historia clínica puede revelar una lesión por inversión o un aumento progresivo de la actividad física/deportiva. El dolor, normalmente, es aumentado con la flexión plantar forzada e inversión o con la

flexión dorsal y eversión contra resistencia. La RNM puede ser útil para diferenciar tendinosis y tenosinovitis de roturas tendinosas completas.

El tratamiento inicial consiste en reposo, frío local, medicación antiinflamatoria, fisioterapia y tal vez, el uso de una ortesis estabilizadora de tobillo con una cuña lateral. No se recomiendan las inyecciones de corticoesteroides. Si los síntomas persisten, el tratamiento quirúrgico puede estar indicado. Es importante que el plan quirúrgico trate la patología tendinosa (reparación, desbridamiento, etc.) y cualquier alteración subyacente como inestabilidad, varo de retropié, etc. (Philbin y cols., 2009).

Roturas del tendón peroneo largo

Las roturas aisladas del tendón del peroneo largo son infrecuentes y menos prevalentes que las roturas del tendón peroneo corto. La Diabetes Mellitus, el hiperparatiroidismo, la artritis reumatoide y la psoriasis pueden predisponer a padecer roturas del tendón del peroneo largo (Philbin y cols., 2009). Otras patologías asociadas con roturas del peroneo largo incluyen inestabilidad de tobillo, cavo-varo del retropié e hipertrofia del tubérculo peroneo del calcáneo, etc. (Boles y cols., 1997; Manoly y Graham, 2005). El tendón del peroneo largo puede sufrir roturas en el maléolo lateral, el tubérculo peroneo del calcáneo, o en la escotadura cuboidea. A nivel del maléolo lateral, las roturas del tendón del peroneo largo pueden estar asociadas a lesiones del tendón del peroneo corto. Las lesiones o roturas aisladas se encuentran más frecuentemente a nivel del tubérculo peroneo en el calcáneo o en el túnel cuboideo. Las roturas agudas del tendón del peroneo largo están comúnmente relacionadas con traumatismos o

lesiones deportivas, mientras que las roturas crónicas están asociadas con la irritación mecánica ocurriendo frecuentemente en el túnel cuboideo y con tenosinovitis crónicas (Sammarco, 1995).

La historia clínica suele revelar o un evento traumático o un curso lento progresivo e insidioso. Además de inflamación y dolor a la palpación en la región lateral del tobillo, los pacientes pueden presentar debilidad y dolor con la eversión contra resistencia, dolor distal al peroné y dolor con la flexión contra resistencia del primer metatarsiano. La fractura del os peroneum puede ser indicador de patología peroneal, como veremos posteriormente. La hipertrofia del tubérculo peroneo del calcáneo puede ser visto en radiografías simples y se cree que es un factor contribuyente a la tenosinovitis y roturas del tendón del peroneo largo. Se recomienda el uso de la Resonancia Magnética para confirmar la patología, ya que permite una fácil evaluación de la lesión de partes blandas. En un estudio sólo 24 (60%) de 40 lesiones de tendón del peroneo largo fueron diagnosticadas en el momento de la presentación, siendo su frecuencia dentro de toda las lesiones tendinosas peroneales (corto, largo y corto asociado y largo aislado) sólo del 15% (Dombek y cols., 2003).

El tratamiento se basa en el tipo de rotura y factores como la edad del paciente, nivel de actividad y la duración de los síntomas. El tratamiento no quirúrgico puede ser considerado para pacientes con síntomas mínimos sin pérdida de función. Cuando los síntomas persisten, las opciones quirúrgicas a considerar para roturas longitudinales y agudas incluyen desbridamiento, tubularización y/o reparación término-terminal. Para roturas distales cerca de la inserción en la base del primer metatarsiano y lesiones crónicas con síntomas persistentes y

en las cuales la rotura no es subsidiaria a reparación término-terminal, se recomienda tenodesis con el peroneo corto. Normalmente, se reseca la porción patológica y los extremos proximal y distal del peroneo largo se suturan lateralmente al tendón del peroneo corto (Philbin y cols., 2009).

Patología relacionada con el os peroneum

La patología relacionada con los tendones peroneos, en concreto con el largo y con el sesamoideo ha sido descrita de múltiples maneras y formas dando lugar a entidades patológicas diversas y a veces confusas, aunque debe ser incluida en el diagnóstico diferencial del dolor plantar-lateral del pie. Las roturas del tendón del peroneo largo ocurren normalmente a nivel de dicho sesamoideo, resultando en una fractura/avulsión o rotura distal a éste. Existen 3 regiones anatómicas en las cuales el tendón del peroneo largo cambia de dirección y están asociadas a un mayor número de roturas. La zona A en la punta del peroné es la menos asociada a roturas tendinosas, la zona B, a nivel del tubérculo peroneo del calcáneo presenta la mayor asociación con roturas parciales y la zona C, en el túnel cuboideo, presenta la mayor incidencia de rupturas completas (Brandes y Smith, 2000).

A pesar de que las lesiones por avulsión del tendón del peroneo largo a nivel de la base del primer metatarsiano ocurren normalmente en asociación con lesiones de la articulación tarso metatarsiana, algunos autores han descrito fracturas-avulsión de la superficie lateral de la base del primer metatarsiano de manera aislada (Kwak y Bae, 2000; Murakami y cols., 2004; Zermatten y Crevoisier, 2011).

Las fracturas de os peroneum tras un esguince de tobillo agudo asociadas o no a rotura del tendón del peroneo largo han sido descritas en múltiples ocasiones en la literatura. Esta lesión fue descrita por primera vez en 1920 (Stropeni, 1920). Posteriormente han sido descritos en múltiples ocasiones casos aislados de fracturas agudas de os peroneum (Hadley, 1942; Brav and Chewning, 1949; Grisolia, 1963; Peacock y cols., 1986; Wilson y Molyes, 1987; Cachia y cols., 1988; Pessina, 1988; Hogan, 1989; Peterson y Stinson, 1992; Wander y cols., 1994). También se han descrito tendinitis cálcicas agudas del tendón del peroneo largo (Cox y Paterson, 1991;), tendinitis estenosante del peroneo largo asociado a la presencia de os peroneum (Pierson y Inglis, 1992), artritis degenerativa del os peroneum (Resnick y cols., 1977; Burton y Altman, 1986), síndrome de fricción del os peroneum (Bashir y cols., 2009), edema de cuboides asociado con tendinopatía peronea (O'Donnell y Saifuddin, 2005). Incluso se han descrito fracturas en un os peroneum multipartito asociado a rotura del tendón del peroneo largo con buen resultado clínico tras tratamiento quirúrgico mediante sutura término-terminal (Wander y cols., 1994). Algunos autores consideran la presencia de un os peroneum como factor de riesgo para las roturas del tendón del peroneo largo en su unión distal con el os (Peacock y cols., 1986).

No fue hasta 1994 cuando se describió el Síndrome del os peroneum doloroso como una de las causas a tener en cuenta dentro del diagnóstico diferencial del dolor plantar lateral del pie, definiendo así un grupo heterogéneo de patologías relacionadas con el os peroneum (Sobel y cols., 1994). Este último incluye clásicamente, esguinces de tobillo, avulsiones del peroneo corto, fracturas del 5º

metatarsiano, fracturas del proceso anterior del calcáneo, cuboides o del proceso lateral del astrágalo y patología de los tendones peroneos.

El espectro de entidades clínicas que forman el síndrome del os peroneum doloroso incluyen una o más de las siguientes: (1) fractura aguda del os peroneum o diástasis a través de un os peroneum multipartito; (2) diástasis crónica o consolidación de una fractura con subsiguiente formación de callo óseo y tenosinovitis estenosante; (3) rotura parcial del tendón del peroneo largo proximal o distal al os peroneum; (4) rotura franca del tendón del peroneo largo proximal o distal al os peroneum; y/o la presencia asociada de un tubérculo peroneo agrandado en la cara lateral del calcáneo el cual atrapa el tendón del peroneo largo y el os peroneum durante el movimiento del tendón (Figura 10) (Sobel y cols., 1994).

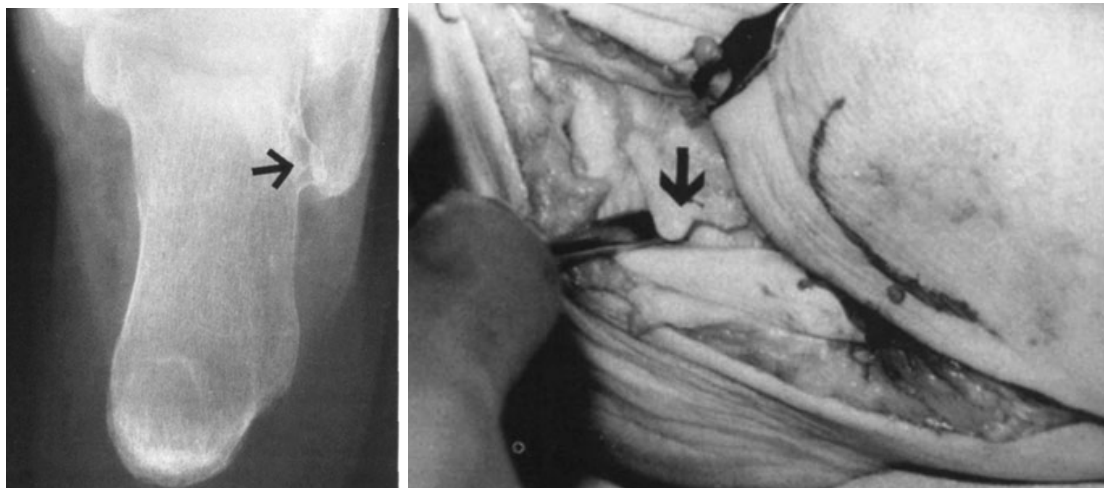


Figura 10. Radiografía axial de calcáneo donde se puede observar un tubérculo peroneo agrandado. Fotografía intraoperatoria mostrando un tubérculo peroneo gigante responsable de la obstrucción del movimiento del tendón del peroneo largo. (Tomado de Sobel y cols., 1994).

El síndrome del os peroneum tiene dos presentaciones mayores: la aguda y la crónica. La presentación aguda es más infrecuente y está asociada a rotura del tendón peroneo franca y/o fractura del os peroneum. La presentación crónica se confunde con un esguince de tobillo de varios meses e incluso años de evolución. La presentación crónica se asocia con rotura parcial del tendón del peroneo largo y/o diástasis de un os peroneum multipartito o la consolidación de una fractura de os peroneum con remodelamiento. Muchos casos descritos como “tendinitis cálcica” pueden en realidad tratarse de una rotura crónica (Cox y Paterson, 1991).

Los síntomas y signos incluyen dolor e inflamación en la parte del tendón del peroneo largo distal al maléolo peroneo y parestesias en el territorio sensitivo del nervio sural. El dolor normalmente, es provocado por flexión plantar contra resistencia del primer dedo e inversión. También presentan debilidad con la eversión y la flexión plantar del primer dedo. Las radiografías, preferiblemente la proyección oblicua del pie, pueden mostrar migración del os peroneum, la presencia de un os peroneum multipartito o un tubérculo peroneo engrosado. La Resonancia magnética es el método diagnóstico de elección para la visualización de los tendones y de partes blandas. Como se ha comentado previamente, la incidencia radiográfica de os peroneum no supera el 30%. En estudios anatómicos, se ha documentado una incidencia cercana al 100% (Oyedele y cols., 2006). Este hecho es importante tenerlo en cuenta por parte del médico tratante que encuentre síntomas y signos compatibles con Síndrome del Os peroneum doloroso en ausencia radiográfica de os.

El tratamiento debe dirigirse a los factores anatómicos que contribuyen al dolor. Sobel y cols. (1994) afirman que tanto en la presentación aguda como crónica se puede tratar de manera conservadora o quirúrgica. En la serie que estudiaron encontraron que sólo el 20% de los pacientes tratados de forma conservadora lograron resultados aceptables. Recomiendan usar con mucha cautela las infiltraciones de corticoides debido a que las consideran causas probadas de rupturas de tendones peroneos debido a la atrofia tendinosa que provocan como efecto indeseado.

Tras la descripción de Sobel y cols., se han descrito múltiples reportes de casos de fracturas de os peroneum y/o roturas de tendón peroneo largo alrededor o a través del os peroneum, cumpliendo todos ellos los criterios clínicos del síndrome del os peroneum doloroso (MacDonald y Wertheimer, 1997; Bessette y Hodge, 1998; Requejo y cols., 2000; Bashir y cols., 2009).

Incluso se ha descrito un caso de fractura por estrés del os peroneum. Los autores describen el caso de un paciente de 38 años, trabajador en posición de cuclillas, que refería dolor crónico en la cara lateral del pie de 3 años de evolución. La radiología simple mostraba un os peroneum multipartito y la gammagrafía hipercaptación. El tratamiento fue quirúrgico mediante excisión del os peroneum y reconstrucción del tendón del peroneo largo mediante sutura término-terminal. El estudio histológico de la muestra de os peroneum escindido reveló varios estadios de consolidación ósea sin necrosis, confirmando el diagnóstico de fractura de estrés (Okazaki y cols., 2003).

Se han descrito en la literatura dos casos de fractura de os peroneum bilateral. El primer caso se trata de fractura bilateral de os peroneum con 21 meses de diferencia entre ambas. Una fue tratada de manera conservadora y la otra de manera quirúrgica con excisión del os tras fallo del tratamiento conservador. Según los autores el tiempo de recuperación fue menor en el caso tratado quirúrgicamente (MacDonald y Wertheimer, 1997). En el segundo trabajo se describe una rotura de tendón peroneo largo bilateral a través de un os peroneum bipartito y un año de diferencia entre ambos casos. El tratamiento, debido al enorme desplazamiento de la fractura en las radiografías, fue quirúrgico en ambos casos, realizándose tenodesis del extremo proximal del tendón del peroneo largo al peroneo corto. El resultado funcional fue considerado satisfactorio a pesar de perder la flexión plantar del primer dedo y de no desarrollar hallux extensus, una de las posibles complicaciones de la tenodesis del peroneo largo al peroneo corto (Blitz y Nemes, 2007).

Se han sugerido muchos mecanismos lesionales, pero la teoría más aceptada es que se debe a una fuerza de inversión sobre un pie tipo cavo varo. Según varios autores, la presencia de os peroneum bipartito o multipartito puede ser un factor predisponente a la rotura del tendón del peroneo largo a través de la sincondrosis del os (MacDonald y Wertheimer, 1997; Blitz y Nemes, 2007).

Posteriormente, en un intento de no perder fuerza de eversión y de flexión plantar del primer radio inherente a la tenodesis del tendón del peroneo largo al corto, se ha descrito una técnica de reparación de la fractura del os y del tendón del peroneo largo. Ésta consiste en una sutura tipo lazo en el fragmento distal lo cual disminuye la disección plantar y los riesgos asociados a ésta (excesivo tejido

cicatricial, daño neurovascular, disección extensa dando lugar a inestabilidad de la columna lateral del pie, etc.), excisión del fragmento proximal del os y sutura término terminal al segmento proximal del tendón al fragmento distal del sesamoideo. Se recomienda el uso de esta técnica para casos de rotura del tendón a través de una fractura del os peroneum con desplazamiento y el tratamiento conservador para las fracturas del os no desplazadas. Argumentan que el tratamiento conservador en fracturas desplazadas puede dar lugar a deformidad en varo del retropié secundaria y hallux elevatus o extensus (Sammarco y cols., 2010). (Figura 11).

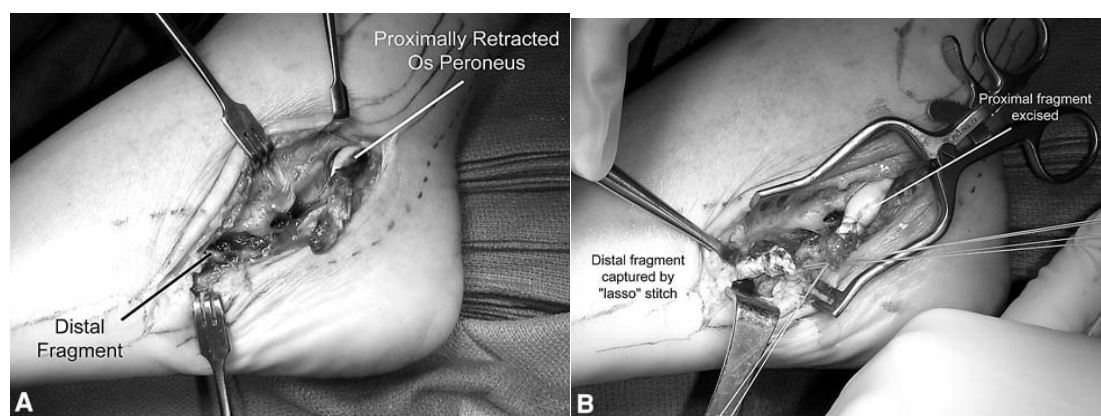


Figura 11. A) Os peroneum fracturado retraído a nivel del maléolo lateral. B) Imagen tras la reparación con sutura tipo lazo en el fragmento distal. (Tomado de Sammarco y cols., 2010).

En el tratamiento de las fracturas del os peroneum también cabe el tratamiento conservador, como se ha descrito en el caso de un varón de 41 años que sufrió una fractura sin desplazar del os peroneum. Fue tratado con inmovilización 6 semanas, incorporándose a la actividad deportiva previa a las 8 semanas. El resultado clínico a los 7 años fue excelente. Los autores argumentan que en el

caso de fracturas sin desplazar, incluso en pacientes con demandas funcionales altas, el tratamiento conservador puede ser satisfactorio (Smith y cols., 2011).

También se han descrito dos casos de ruptura de tendón de peroneo largo distal al os peroneum. En ambos casos se observó migración proximal del os peroneum hasta la región del tubérculo peroneo. En ambos casos se optó por la excisión del os y la tenodesis al tendón peroneo corto con buenos resultados clínicos (Maurer y Lehrman, 2012).

La serie más amplia ha sido publicada recientemente notificando los resultados clínicos de 12 pacientes con roturas de tendón de peroneo largo con patología asociada del os peroneum y en los cuales existía un tendón de peroneo corto viable. Todos los pacientes fueron tratados con excisión del os, desbridamiento y tenodesis del tendón peroneo largo al corto. Refieren que todos los pacientes presentaron una lesión del tendón del peroneo largo irreparable y compleja con adherencia a tejidos circundantes asociada a fractura del os peroneum en 8 casos y en 4 con un os peroneum atrapado en el túnel cuboideo impidiendo su movimiento normal. Presentaron 5 complicaciones: 2 neuritis del nervio sural y 3 retrasos de cicatrización superficial. Todos los pacientes mejoraron sus resultados preoperatorios en escalas funcionales de pie y tobillo (AOFAS), de salud general (SF-36) y de dolor (VAS). Concluyen que la excisión del os peroneum y la tenodesis del tendón del peroneo largo al corto como una técnica que se asocia a mejoría de la función y del dolor de los pacientes (Stockton y Brodsky, 2014).

Únicamente se han descrito tres casos clínicos de artrosis entre el os peroneum y el hueso cuboides (Burton y Altman, 1986; Thornton y cols., 2000). Esta entidad clínica no encajaría dentro del diagnóstico de síndrome del os peroneum doloroso. El más reciente consiste en una paciente de 48 años que presentaba una historia de dolor en la región plantar-lateral del pie de dos meses de evolución siendo rebelde a tratamiento analgésico convencional. Las radiografías simples mostraron un os peroneum con esclerosis y osteofitos entre el sesamoideo y el cuboides. La RNM mostró tenosinovitis en el tendón del peroneo largo a ese nivel. Una inyección de anestésico local alivió los síntomas puntualmente. Ante el fracaso del tratamiento conservador, se optó por tratar quirúrgicamente mediante excisión del os peroneum del tendón y sutura tendinosa con buenos resultados funcionales a los 6 meses (Gokkus y cols., 2015).

Se ha recomendado el uso de la resonancia magnética para el diagnóstico de fracturas de os peroneum no evidentes en los estudios de radiología simple. Especialmente llamativo es el caso de una paciente con clínica de síndrome de os peroneum doloroso agudo, inicialmente tratado de forma conservadora, que finalmente fue tratado quirúrgicamente tras fracaso del tratamiento conservador, mediante exéresis del os y reconstrucción del segmento correspondiente al os con un injerto tendinoso. La histología del os peroneum mostraba distintas fases de consolidación ósea. Tras revisar de nuevo las radiografías simples (en las que se observaba una fractura sin desplazar) y la RMN, se observa en la última un edema en uno de los fragmentos (Figura 12).

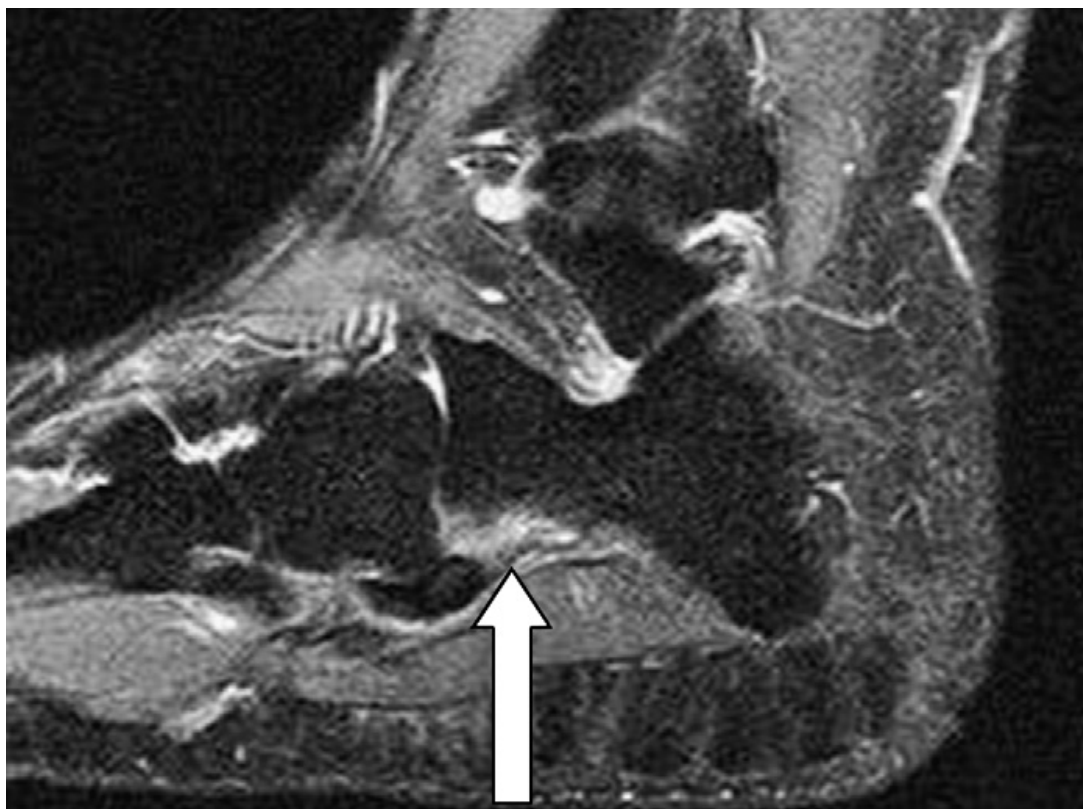


Figura 12. RMN en la que se muestra edema en el tendón del peroneo largo (Tomado de Chadwick y cols., 2011).

Los autores argumentan que de haber sido capaces de reconocerlo tal vez hubieran optado por excisión del fragmento hiperémico y reparación tendinosa directa sin necesidad de interponer un injerto tendinoso (Chadwick y cols., 2011).

En la presencia de un os peroneum osificado, la evaluación radiográfica de su posición, márgenes y separación de fragmentos debe ser meticulosa y los hallazgos deben ser comparados con los del pie contralateral. De acuerdo con un estudio de 9 lesiones de peroneo largo con evidencia radiográfica de fractura de os peroneum, se encontró que la separación de los fragmentos de al menos 6mm o el desplazamiento del fragmento proximal, de al menos 10mm, en una

radiografía lateral o de 20 mm o más en una radiografía oblicua estaba asociado con rotura de espesor completo de peroneo largo en todos los pacientes. También se afirmó que una separación de 2mm puede verse en fracturas no desplazadas o en os peroneum bipartitos. Un desplazamiento proximal de 8mm o menos estuvo asociado con tendones normales, lesiones de espesor parcial o tendinosis. En 36 sujetos control con os peroneum asintomáticos la localización del osículo varió de 7mm proximal a 8mm distal a la articulación calcáneocuboidea en radiografías laterales y de 9mm proximal a 8mm distal a la articulación en radiografías oblicuas (Brigido y cols., 2005).

En otro trabajo, 2 de 6 roturas completas tenían os peroneum y sólo una mostró migración o retracción proximal en la radiografía (Brandes y Smith, 2000). Diversos autores destacan que la migración proximal del os peroneum es un marcador muy útil de disrupción tendinosa en lesiones agudas y crónicas (Figura 13) (Thompson y Patterson, 1989; Sammarco y cols., 2010; Vethanayagomy y cols. 2013).

Se han clasificado las roturas de tendón peroneo según el porcentaje de tendón viable tras el desbridamiento, indicando que la reparación primaria era preferible si al menos el 50% del tendón era viable y tenodesis si menos del 50% del tendón era viable tras el desbridamiento (Krause y Brodsky, 1998).

La especificidad de la RNM para diagnóstico de patología tendinosa es de un 80% para la detección de roturas de peroneo corto y de 100% para el tendón del peroneo largo (Steel y DeOrio, 2007). A pesar de que la RMN pueda ser el método de imagen estándar para evaluar los tendones peroneos, el diagnóstico definitivo

y el tratamiento debe estar determinado principalmente por la historia clínica y la exploración física.



Figura 13. Proyección oblicua interna 1A) y lateral 1B) mostrando un os peroneum con migración proximal (Tomado de Vethanayagomy y cols. 2013).

Muy recientemente, se ha descrito una nueva técnica quirúrgica para el tratamiento de fracturas del os peroneum asociadas a roturas del tendón del peroneo largo. Se describe el uso de la tendoscopia y reparación mini-open en un caso clínico que sintetiza muy bien la historia clínica, exploración y las pruebas de imagen complementarias necesarias. Un varón de 41 años tras sufrir un traumatismo directo sobre el aspecto lateral de su pie causando una inversión forzada, presenta inflamación en el aspecto lateral del pie con dolor a la palpación en el área lateral y plantar del cuboides. No podía evertir ni realizar flexión plantar del primer dedo. Las radiografías mostraron una migración proximal y fractura de un os peroneum multipartito comparado con el lado

contralateral. La RNM mostró una rotura completa del tendón del peroneo largo distal al os peroneum. Posteriormente realizaron una tenoscopia mediante dos portales, uno proximal y otro distal al os peroneum para localizar los extremos tendinosos. Una vez localizados y desbridados artroscópicamente procedieron a realizar una reparación abierta mediante sutura término-terminal mediante una pequeña incisión. El resultado clínico fue excelente 12 meses tras la intervención (Ho y cols., 2013).

Tras la revisión de la literatura, las opciones de tratamiento para lesiones del tendón peroneo cerca del os peroneum con o sin fractura del mismo incluyen tratamiento conservador, fijación de la fractura mediante sutura tendinosa, excisión parcial del hueso con reparación directa del tendón y tenodesis del peroneo largo al tendón del peroneo corto. La variedad de técnicas quirúrgicas descritas hace difícil sacar conclusiones sobre qué técnica es superior.

En conclusión, las roturas de tendón de peroneo largo alrededor del os peroneum conforman un grupo de lesiones infrecuentes difíciles de distinguir dentro del diagnóstico diferencial del dolor lateral plantar del pie. Una historia clínica detallada junto con radiografías simples pueden aportar mucha información inicial. Un pie con el retropié cavo-varo y con la presencia de un os peroneum debe alertar al médico de la posibilidad de rotura del peroneo largo. Una imagen contralateral del pie “sano” puede ayudar a distinguir una posición anormal o fractura, pero la ausencia de un os peroneum visible en radiología simple no debe eliminar la posibilidad de lesión del tendón del peroneo largo.

1.4- ORIGEN Y PAPEL DEL OS PERONEUM

Embebidos en ciertos tendones, la principal función de los sesamoideos es permitir a los tendones deslizarse sobre articulaciones sin quedarse atrapados. Pueden actuar también como un punto de fulcro para los tendones ayudando así en su función y mejorando su brazo de palanca. Los huesos sesamoideos tienden a desarrollarse dentro de tendones en áreas que experimentan fuerzas de tensión y presión hidrostática de compresión. Es comúnmente aceptado que los sesamoideos reciben su nombre de algún anatomista que vio similitud con los granos de sésamo (Patil y cols., 2007; Mittal y cols., 2014).

Los sesamoideos no están siempre compuestos de hueso y pueden aparecer como una combinación de tejido fibroso, cartílago y hueso (Grinbaum y cols., 2009). De hecho, cuando se han realizado estudios para evaluar la incidencia de huesos sesamoideos, los investigadores que han estudiado radiografías encuentran menor frecuencia de sesamoideos que cuando se examinan especímenes cadavéricos (Mellado y cols. 2003; Oyedele y cols. 2009). Este hecho es importante para el médico tratante, particularmente en casos donde puede haber síntomas de patología asociada a un sesamoideo y no existe evidencia radiográfica de ninguno.

El os peroneum es un hueso sesamoideo redondo/ovalado que se encuentra en la intrasustancia del tendón del peroneo largo situado a nivel distal, en la región en la que el tendón del peroneo largo contacta con el cuboides previamente a su cambio de dirección hacia la cara plantar del pie. Se han descrito cuatro estructuras de partes blandas que lo anclan: la fascia plantar, la base del quinto

metatarsiano, el hueso cuboides y el tendón del peroneo corto (Sobel y cols., 1994). También se han descrito ligamentos de fijación o frenulares que se extienden del peroneo largo a tejidos blandos cercanos (Picou, 1894; Sarrafian, 1983; Patil y cols., 2007). En aproximadamente un 30% de los casos el hueso se encuentra dividido en dos o más fragmentos que se originan de centros de osificación no unidos, resultando en un os peroneum bipartito o multipartito. Se encuentra de manera unilateral en aproximadamente el 40% de los casos (Grisolia, 1963; Le Minor 1987; Bloom, 1991). En radiografías simples, generalmente se halla superpuesto el cuboides en la proyección lateral, y se observa mejor en la proyección oblicua medial (Christman, 2003).

El término “sesamoideo” ha sido tradicionalmente descrito y entendido por diversos investigadores como un hueso intratendinoso que es histológicamente identificable o radiológicamente visible (Sarin y cols., 1999). Mecánicamente, los huesos sesamoideos sirven para proteger al tendón de lesiones y en algunos casos, incrementar la eficiencia o la ventaja mecánica de su músculo asociado. El sesamoideo del tendón peroneo largo puede ser encontrado en diversos grados de osificación, desde pocas trabéculas hasta grandes nódulos de hueso esponjoso rodeado de una fina capa de hueso compacto (Le Minor, 1987). Según algunos autores, el proceso de metaplasia en los tendones parece representar un paso intermedio en la formación de cartílago en los huesos sesamoideos (Sarin y cols. 1999). Se ha afirmado también que el fibrocartílago observado dentro del tendón del peroneo largo forma un “espectro continuo de tejidos desde tejido conectivo denso hasta cartílago hialino” (Benjamin y Ralphs, 1998). La pregunta que surge

entonces es, ¿a partir de qué estadio de este “espectro continuo” un cuerpo intratendinoso empieza a tratarse de un sesamoideo? (Oyedele y cols., 2008).

En cuanto a su incidencia, algunos autores refieren que el hueso sesamoideo en el tendón peroneo largo está “siempre presente en un estado osificado, cartilaginoso o fibrocartilaginoso” con una incidencia de osificación completa de alrededor al 20% y de un 75% de osificación incompleta (Sarrafian, 1993). Un estudio de 225 pies, reveló un 20% de incidencia de osificación y adicionalmente de un 55% de sesamoideos en forma fibrocartilaginosa (Anatomic Society, 1897). Un estudio cadavérico reciente encontró os peroneum, mediante palpación del tendón peroneo largo, en un 88% de los casos y encontró incidencia radiográfica del 15,12% (Benninger y Kloenne, 2011). Otro estudio reportó una incidencia similar (90%) con un 96% de bilateralidad teniendo como manera de detección la palpación o visión directa (Oyedele y cols., 2006). La incidencia global en estudios cadavéricos ha variado entre el 12.3% y el 90% y la incidencia radiográfica entre el 4,7% y el 31,8% (Sarin y cols. 1999; Coskun y cols. 2009; Benninger y Koenne, 2011). La variabilidad entre estas dos maneras de describir la incidencia se debe a la manera de definirla, bien sea mediante su observación en radiografías simples o mediante palpación/visión directa.

Existen principalmente dos teorías respecto al origen de los huesos sesamoideos y en cuanto al os peroneum en particular. La teoría mecánica y la teoría genética. Los factores epigenéticos mecánicos, incluyendo estreses mecánicos locales asociados con la locomoción y la contracción muscular, afectan y guían el desarrollo futuro de los tejidos de las extremidades, incluyendo a los sesamoideos (Carter y cols. 1998). Diversos estudios han investigado cómo una

falta de estímulos mecánicos afecta el desarrollo temprano de los sesamoideos. La rótula y sesamoideos plantares del pollo han sido estudiados en este contexto (Drachman y Sokoloff, 1986; Hosseini y Hogg 1991).

La condrometaplasia tendinosa y los huesos sesamoideos tienden a desarrollarse dentro de tendones que sufren fuerzas de tensión y de compresión mecánicas (Giori y cols., 1993; Wren y cols., 1998). Durante la ontogenia en humanos y otros animales, el tejido fibroso tendinoso puede formar regiones de fibrocartílago en áreas que contactan con prominencias óseas (el fibrocartílago es un tejido cuyo fenotipo es intermedio entre tejido fibroso y cartilaginoso que consiste en condrocitos embebidos en fascículos de colágeno tipo I) (Vogel y Koob, 1989; Benjamin y cols., 1995).

Se ha demostrado que las cargas compresivas y el tratamiento con TGF-beta aumentan la síntesis de agreganos en tendones bovinos, sugiriendo que un aspecto de la respuesta celular a la carga compresiva es incremento de síntesis de TGF-beta que a su vez, estimula la formación de matriz extracelular de proteoglicanos que lleva a la formación de fibrocartílago (Robbins y cols., 1997).

Debido a que los huesos sesamoideos derivan de condensaciones fetales y embrionarias de tejidos pre-cartilaginosos, muchos investigadores han sugerido que su formación está sustancialmente controlada también por factores genéticos (Pearson y Davin, 1921; Merida-Velasco y cols., 1997). Estudios bioquímicos recientes apoyan esta teoría; indican que los genes homeobox y genes de la familia TGF-beta influyen la formación y la morfología de ciertos sesamoideos en ratones (Small y Potter, 1993; Storm y Kingsley 1996). En la

línea de la teoría genética se ha estudiado en humanos la relación que existe entre la presencia de la fabela, un sesamoideo localizado en la cabeza lateral del tendón del músculo gastrocnemio detrás de la rodilla, y el os peroneum, dos sesamoideos de presencia variable. Se encontró asociación significativa entre la presencia de fabela y os peroneum, indicando que los humanos que presentan os peroneum tienen más probabilidades de presentar fabela, apoyando dicha teoría. No se encontró asociación con el sexo de los pacientes, con la edad o con la lateralidad. Los autores afirman que sus resultados permiten considerar que existe interconexión entre los factores genéticos y los epigenéticos en la evolución de los sesamoideos en humanos (Sarin y cols., 1999).

Otros autores defienden a la teoría mecánica de la diferenciación. Según esta teoría el os peroneum aparece en el tejido tendinoso en reacción a los estreses mecánicos que ocurren cuando el tendón del peroneo largo cruza el túnel cuboideo. El os peroneum está presente de manera constante en las familias de primitivas de primates como Cercopithecidae y Hylobatidae en las que el peroneo largo actúa de aductor del hallux (Figura 14). El ser humano, debido a la marcha bipodal y a la postura erecta, ha perdido la oposición del pulgar estando el tendón del peroneo largo por tanto, sometido a menos solicitaciones mecánicas interpretándose así como un sesamoideo en regresión. También soporta esta teoría el hecho de que frecuentemente se encuentre parcialmente osificado y que sea a veces unilateral (Le Minor, 1987).

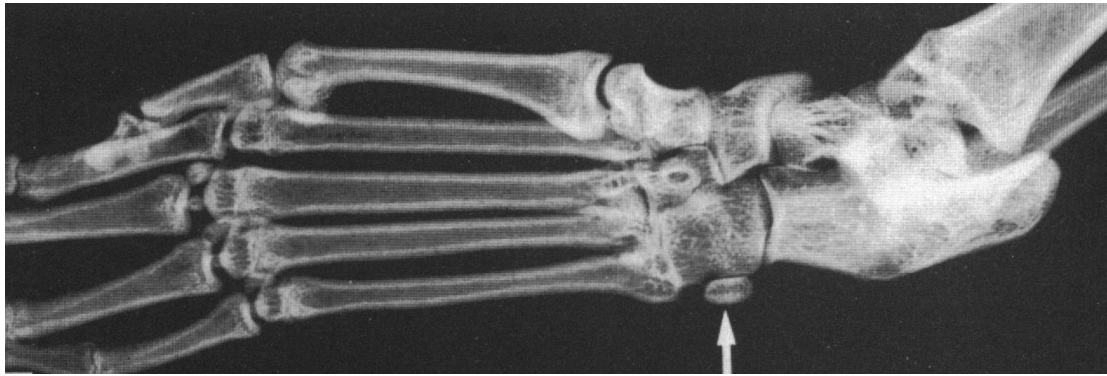


Figura 14. Radiografía del pie de un ejemplar de *Cercopithecus nictians* de la familia Cercopithecidae, mostrando un os peroneum constante (Tomado de Le Minor, 1987).

Actualmente se cree que los sesamoideos y en concreto el os peroneum, surgen de interacciones entre factores genéticos y ambientales. Probablemente un umbral genético para la adaptación funcional pueda mediar en la capacidad de formación de los sesamoideos. Un cambio en este umbral puede explicar la aparición o desaparición de los sesamoideos. Estos umbrales pueden estar influenciados por variaciones genéticas en los genes Hox, BMPs, o cualquier molécula que interactúe en la condrogénesis durante el desarrollo. Cambios en los umbrales actuando junto con factores mecánicos ambientales podrían llevar, a través de asimilación genética, a alteraciones en la incidencia de los sesamoideos (Sarin y cols., 1999).

En contraposición a la teoría mecánica, durante la gestación las únicas fuerzas mecánicas son las ejercidas por la contracción muscular. En el adulto los tendones del peroneo largo están sujetos a fuerzas mecánicas ejercidas por el peso corporal y la deambulación (Leutert, 1960). En contraposición, durante la gestación las únicas fuerzas mecánicas son las ejercidas por la contracción muscular. La contracción muscular empieza durante el segundo mes de

embarazo (Starck, 1955); en la 8^a-9^a semana o al inicio del período de desarrollo fetal (O’Rahilly y Müller, 1987; Patten, 1968). Hasta donde sabemos, ningún estudio sobre el desarrollo embrionario-fetal del os peroneum y de la articulación peroneo cuboidea ha sido publicado.

2.- HIPÓTESIS

Dados los antecedentes en la bibliografía, nuestra hipótesis de partida es que la estructura del os peroneum, de la articulación peroneo-cuboidea y de los ligamentos frenulares está presente en el periodo pre-ortostático, es decir en el periodo embrionario-fetal y por lo tanto su existencia y su potencial patología asociada no pueden ser determinadas únicamente por fuerzas mecánicas y pueden estar determinadas genéticamente.

3.- OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son:

1. Calcular la incidencia del os peroneum y de los ligamentos frenulares en el adulto.
2. Describir la anatomía de la articulación peroneo-cuboidea en el adulto.
3. Establecer si la estructura del os peroneum, la articulación peroneo-cuboidea y los ligamentos frenulares están presentes en el periodo pre-ortostático, es decir, el período embrionario-fetal.

4.- MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio fue realizado en la sala de disección y en el laboratorio del Departamento de Anatomía y Embriología Humana I de la Facultad de Medicina de la UCM durante los años 2011 y 2012.

Se analizaron dos muestras humanas diferentes, una embrionaria/fetal y otra adulta. No tuvimos acceso a la historia clínica de ninguno de los especímenes, aunque sí tuvimos acceso a la causa de la muerte y ninguna de ellas estuvo relacionada con patología de la región del pie o tobillo.

La primera muestra consistió en un total de 6 embriones (estadios 20-23) y 17 fetos (9 a 32 semanas) pertenecientes a la colección del Departamento de Anatomía y Embriología Humana I de la Facultad de Medicina de la UCM.

Los ejemplares de embriones y fetos fueron seccionados seriadamente en diferentes ejes y teñidos con varias técnicas (Bielschowsky, Hematoxilina-eosina, Azan, tricrómico de Masson, VOF). Las secciones histológicas fueron analizadas con microscopio de luz convencional asociado a una cámara digital aneja acoplada para la adquisición de fotografías.

Previo a su análisis, los embriones fueron clasificados de acuerdo con los estadios de Carnegie definidos por O'Rahilly y Müller (1987) estando nuestros ejemplares comprendidos entre el estadio 20 y 23 (tabla 1) (Figura 11). Los fetos fueron clasificados según los estadios definidos por Patten (1968) (tabla 2).

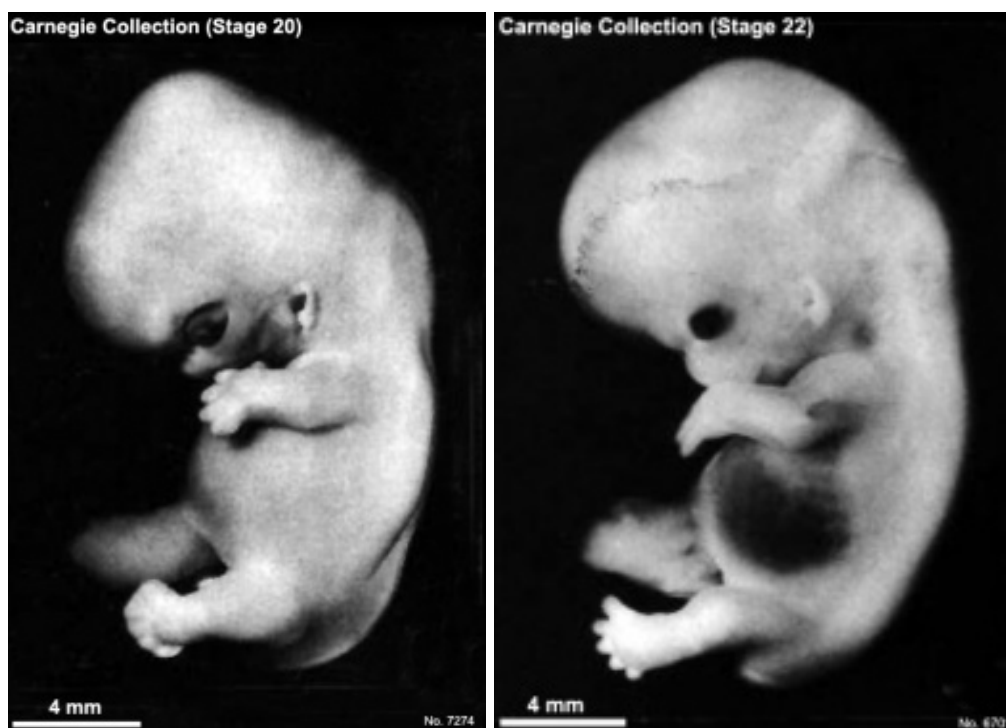


Figura 15. Fotografías de dos embriones en estadios 20 y 22. En el estadio 20 se aprecia una ligera flexión del codo. En el 22 los ojos están más cubiertos por los párpados. Las extremidades han aumentado su longitud. (Tomado de www.embryology.med.unsw.edu.au).

Los embriones y los fetos fueron obtenidos con consentimiento paterno de acuerdo con la ley vigente.

Nombre	Nº	Estadio (O’Rahilly & Müller)	Longitud Céfalo- caudal (mm)	Edad gestacional (días)
E1	1	Estadio 20	21	50-51
E2	1	Estadio 21	24	52
E3	1	Estadio 22	25	54
E4	1	Estadio 22	25	54
E5	1	Estadio 22	25	54
E6	1	Estadio 23	28	57

Tabla 1. Detalles de los embriones incluidos en el presente estudio.

Nombre	Nº	Patten30 (mm)	Edad gestacional (semanas)
F1	1	32	9
F2	1	34	9
F3	1	37	9
F4	2	37	9
F5	1	41	9
F6	2	42	9
F7	1	44	9
F8	2	55	10
F9	2	76	11
F10	2	100	13
F11	2	110	14
F12	2	116	14
F13	1	131	15
F14	2	140	16
F15	1	150	17
F16	1	177	19
F17	1	332	32

Tabla 2. Detalles de los fetos incluidos en el presente estudio.

Una segunda muestra consistió en 38 pies humanos adultos, 14 varones y 6 mujeres con una edad comprendida entre 65 y 90 años (edad media: 79; desviación estándar: 7.99) de los cuales 18 eran derechos y 20 izquierdos.

Estos 38 pies fueron disecados mediante disección anatómica macroscópica estándar con la finalidad de estudiar y documentar: la presencia de ligamentos frenulares anteriores y/o posteriores; analizar el límite proximal de la articulación peroneocuboidea con el fin de detectar si se comunica con la vaina tendinosa sinovial proximal; detectar un engrosamiento en el tendón del

peroneo largo a nivel de la región peroneo-cuboidea y para determinar la existencia de superficie articular en el hueso cuboides.

Se procedió a la disección de la región lateral del pie por planos. La piel, fascia profunda, la fascia plantar y los músculos superficiales de la planta del pie fueron extraídos. La región peroneo cuboidea fue localizada previa exposición del tendón del peroneo largo a nivel del retináculo peroneal superior. El tendón fue seguido primero posterior al maléolo lateral y posteriormente en la región plantar lateral del pie.

En primer lugar, se procedió a la disección de la región peroneo-cuboidea y a la identificación y documentación de la presencia de ligamentos frenulares. Posteriormente, se seccionó el tendón del peroneo largo a nivel proximal justo distal al retináculo peroneal inferior y distalmente proximal a su inserción en la base del primer metatarsiano. Una vez excindidos todos los tendones se procedió al análisis y documentación de la región medial tendinosa que estaba en contacto con la cara lateral del hueso cuboides para documentar la presencia de un engrosamiento a ese nivel de consistencia más dura que el resto del tendón. Finalmente, tras la excisión y análisis de los tendones, se procedió a la identificación de la carilla o faceta articular del cuboides en la región del mismo que estaba en contacto con el tendón del peroneo largo. Todo ello fue objetivado mediante visión y palpación directa.

Tras la disección y documentación de los detalles anatómicos previamente descritos, se procedió a la extracción de una porción de unos 5cm del tendón del peroneo largo de cada ejemplar mediante sección directa con bisturí a nivel de la

región peroneo-cuboidea. Los especímenes de los 38 pies se preservaron en una solución de formol al 10%.

Posteriormente, las muestras de tendón de peroneo largo se sometieron a estudio radiológico con el fin de detectar y documentar la presencia de osificación radiográfica en el engrosamiento correspondiente a la región peroneocuboidea. El estudio radiológico se llevó a cabo en el Departamento de Radiología del Hospital Universitario Materno-Infantil “12 de Octubre” de Madrid. Todos los tendones se posicionaron, tras su secado, sobre el chasis radiográfico digital con la superficie en contacto con el hueso cuboides mirando hacia arriba, en un intento de simular la posición que tiene el tendón del peroneo largo para obtener la proyección mediolateral de pie (Figura 12). El tubo de rayos X se posicionó a una distancia focal de un metro respecto al chasis. El estudio de radiología digital simple se realizó a la vez en todos los tendones.



Figura 16. Posición del pie para la proyección mediolateral de pie (Tomado de www.Radiologyassistant.nl).

Tras el estudio radiológico, los tendones fueron divididos en dos grupos: 1) tendones con os peroneum en forma osificada; 2) tendones con os peroneum en forma no osificada.

Los tendones que presentaron forma no osificada de os peroneum, fueron seccionados con un bisturí aproximadamente 1.0 cm proximal y 1.0 cm distal a la porción del tendón que articula con la tuberosidad cuboidea. Posteriormente, fueron seccionados longitudinalmente en dos mitades, una lateral y otra medial, y fueron embebidos y teñidos con técnicas histológicas estándar (hematoxilina-eosina, Azan y tricrómico de Mason) por parte de los técnicos de laboratorio del Departamento de Embriología y Anatomía Humana I.

Tras el procesamiento y su tinción, las muestras de secciones de tendones con os peroneum en forma no osificada fueron analizadas con microscopio de luz convencional asociado a una cámara digital aneja acoplada para la adquisición de fotografías.

Los adultos donaron sus cuerpos durante su vida de acuerdo con la ley vigente. Las comparaciones estadísticas para estudiar si existe relación entre la presencia de ligamentos frenulares y la presencia o no de os peroneum osificado se hicieron usando el test de la Chi-cuadrado ($P < 0,005$).

5.- RESULTADOS

Estudio de embriones y fetos

Durante el análisis de los cortes histológicos embrionarios fuimos capaces de apreciar de manera más precoz, en un espécimen perteneciente al estadio 21 una condensación en el borde lateral de la condensación cartilaginosa correspondiente al hueso cuboides. Esta condensación celular corresponde al tendón del músculo peroneo largo (Figura 13). El hueso cuboides fue claramente visible en este estadio en una forma similar a la que presenta en el adulto. Pudimos apreciar el contacto del cuboides con el 4º y 5º metatarsiano. En este estadio 21, no pudimos seguir el esbozo de tendón peroneo largo hasta su inserción distal en la base del primer metatarsiano (Figura 17 y 18).

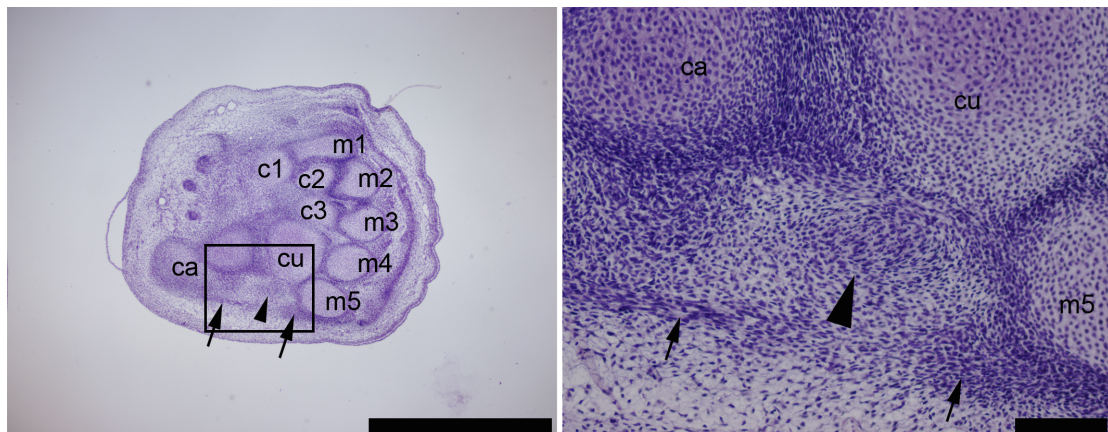


Figura 17 y 18. Embrión de estadio 21.

En la cara lateral de la condricificación del futuro hueso cuboides, se puede apreciar una condensación de tejido (cabeza de flecha). Se observa cómo el cuboides articula con los metatarsianos 4º y 5º. Apreciar la condensación cerca del futuro tendón del peroneo largo correspondiente al abductor del quinto dedo (flechas). Figura 18, ampliación fig.17. Barra de escala: 1000 µm (A); 100 µm (B). Ca: calcáneo; cu: cuboides; c1-c2-c3: primer, segundo y tercer cuneiforme; m1-m5: Primer a quinto metatarsiano.

El seguimiento del tendón del peroneo largo hasta su inserción en la base del primer metatarsiano fue visible antes de la finalización del periodo embrionario (estadio 23). En el estadio 22, el tendón pudo ser seguido desde su origen hasta su inserción en los tres embriones pertenecientes a este estadio (Figura 19 y 20). Se pudo observar adicionalmente, una banda de inserción al primer interóseo dorsal.

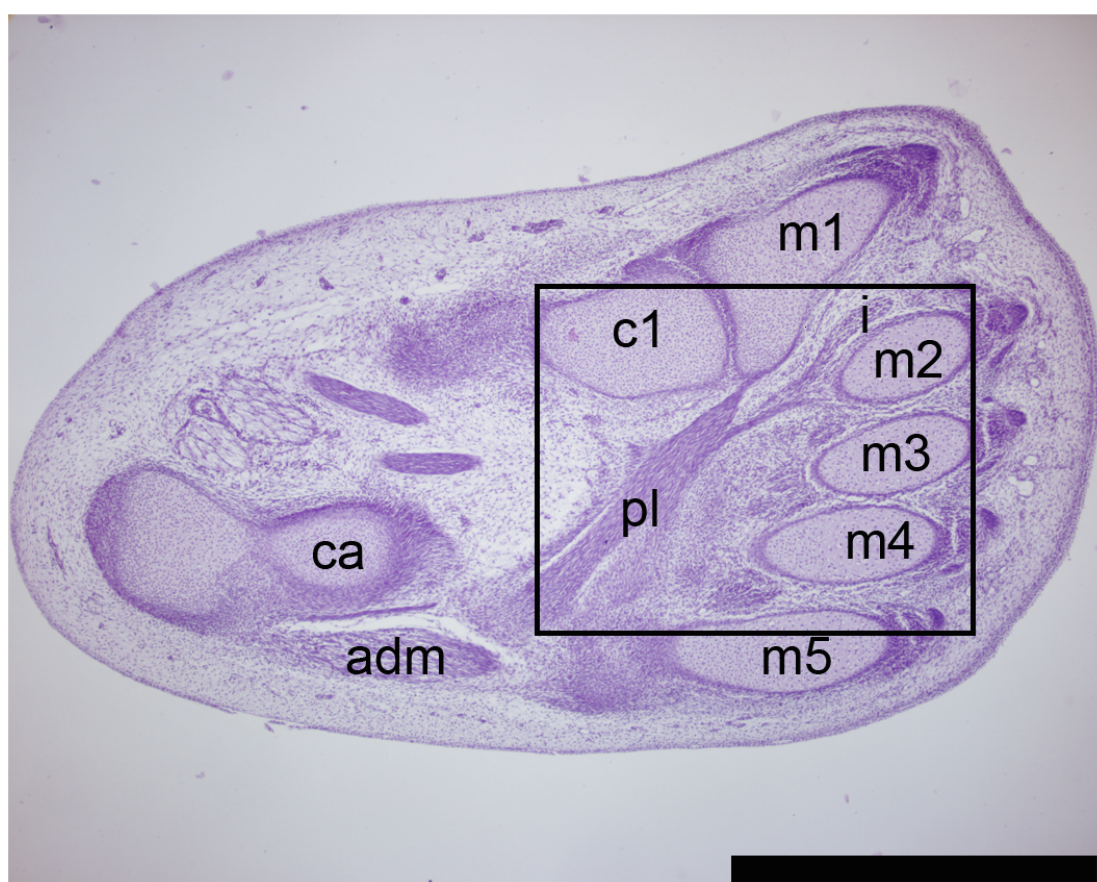


Figura 19. Embrión de estadio 22. Sección transversal.

Nótese el detalle del desarrollo del tendón del peroneo largo en la cara plantar del pie y su inserción en la base del primer metatarsiano. Obsérvese también una inserción adicional en el primer músculo interóseo.

Barra de escala: 1000 μ m. Ca: calcáneo; adm: aductor del quinto dedo; c1: primer cuneiforme; i: músculo interóseo; m1-m5: primer a quinto metatarsiano.

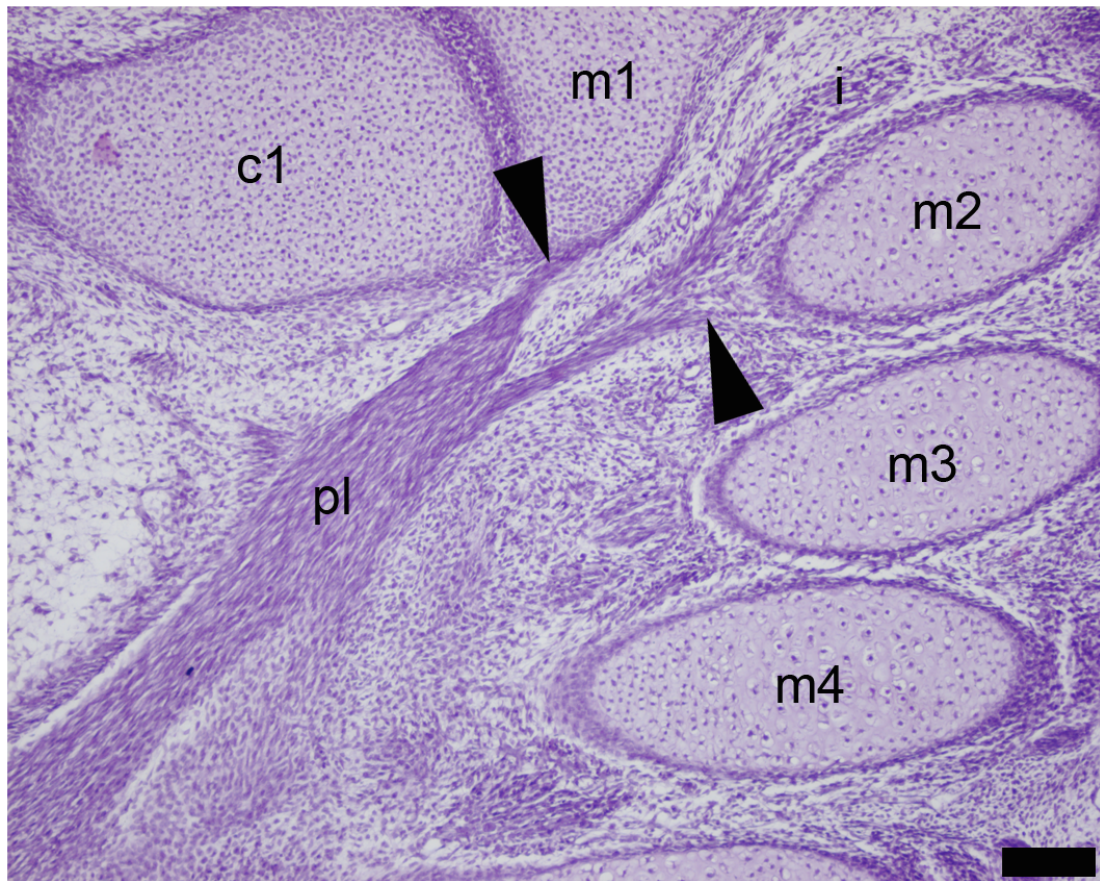


Figura 20. Embrión de estadio 22. Sección transversal. Ampliación de imagen de fig. 19.

Nótese el detalle de la inserción del tendón del peroneo largo en la región lateral de la base del primer metatarsiano (cabeza de flecha). Detalle de inserción adicional en el primer músculo interóseo (cabeza de flecha).

Barra de escala: 100 μ m. Ca: calcáneo; adm: aductor del quinto dedo; c1: primer cuneiforme; i:músculo interóseo; m1-m5: primer a quinto metatarsiano.

Posteriormente al estadio 22, antes del final del periodo embrionario, en el estadio 23 se pudo observar la formación de una cavitación en el aspecto medial del tendón del músculo peroneo largo a la altura de su contacto con la cara lateral del hueso cuboides. Dicha cavidad se extendió al borde anterior y al borde posterior del tendón del peroneo largo, pero no en su aspecto lateral. En

este mismo estadio 23 pudimos observar también en el borde posterior del tendón del peroneo largo una condensación de tejido desde éste hacia la región calcáneo-cuboidea correspondiente al futuro ligamento frenular posterior (Figura 21 y 22).

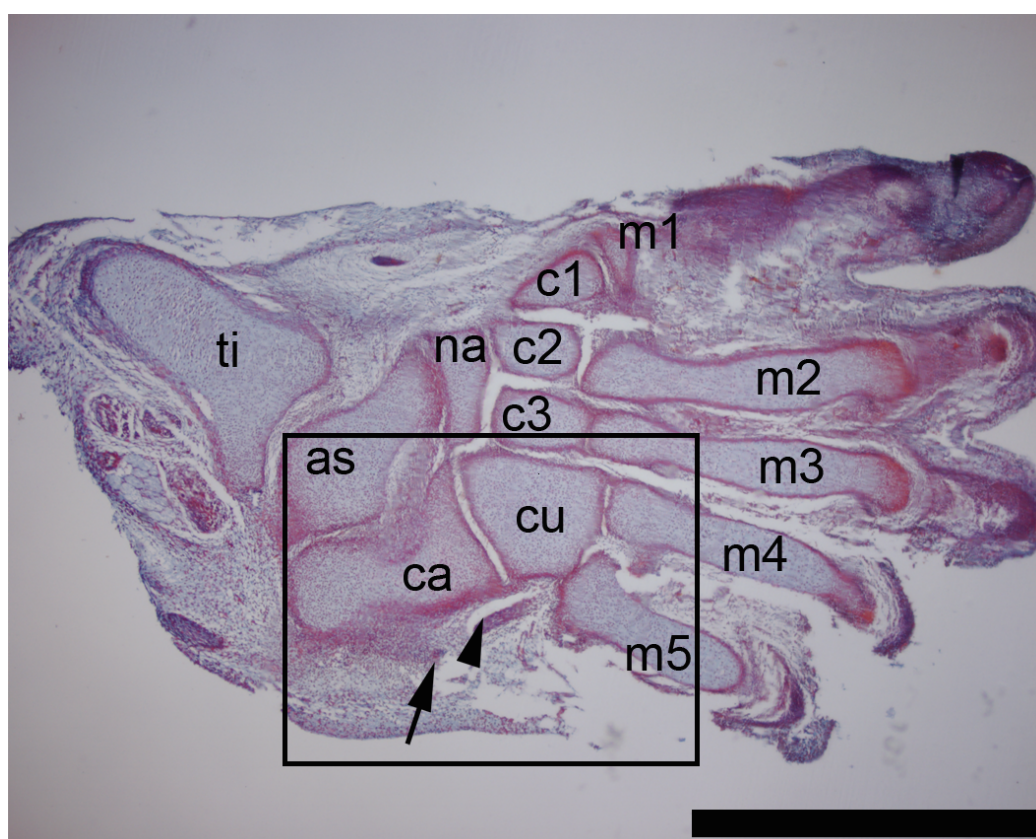


Figura 21. Embrion en estadio 23. Sección transversal semioblicua.

Se puede observar la aparición de una cavidad en el borde medial del tendón del peroneo largo a nivel de su contacto con la región calcáneo-cuboidea (cabeza de flecha) mostrando así la articulación peroneocuboidea. Obsérvese también la condensación de tejido correspondiente al futuro ligamento frenular posterior (flecha).

Barra de escala: 1000 μ m. As: astrágalo; ca: calcáneo; c1-c2-c3: primer-tercer cuneiforme; cu: cuboides; na: navicular (escafoides) m1-m5: primer a quinto metatarsiano.

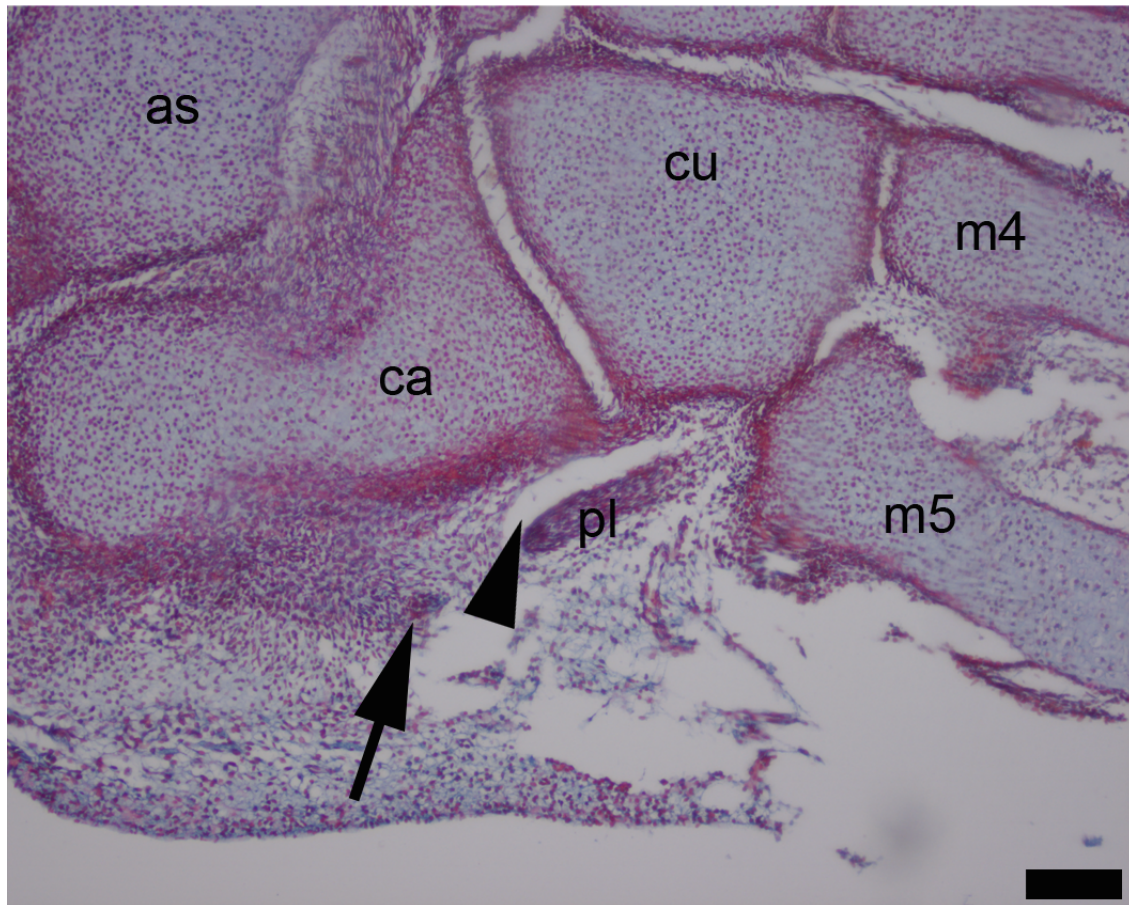


Figura 22. Embrion en estadio 23. Sección transversal semioblicua. Ampliación de fig 21. Obsérvese con más detalle la aparición de la cavidad en el aspecto medial del tendón del peroneo largo correspondiente a la articulación peroneo-cuboidea (cabeza de flecha). En el borde posterior del tendón del peroneo largo nótese un acúmulo de tejido correspondiente al ligamento frenular posterior. Obsérvese también el acúmulo de células en el borde lateral del hueso cuboides.

Barra de escala: 100 μ m. As: astrágalo; ca: calcáneo; cu: cuboides; m4-m5: cuarto y quinto metatarsiano.

En el inicio del periodo fetal (9ª semana) se puede observar que dicha cavidad aumenta su tamaño y entra en contacto con la superficie plantar lateral del hueso cuboides eliminándose así el acúmulo de tejido observado en la cara lateral del mismo en el estadio embrionario 23 (Figura 23; Figura 24). Con el

aumento de la edad gestacional, la cavidad aumenta de tamaño y los tejidos que la rodean aumentan en grosor.

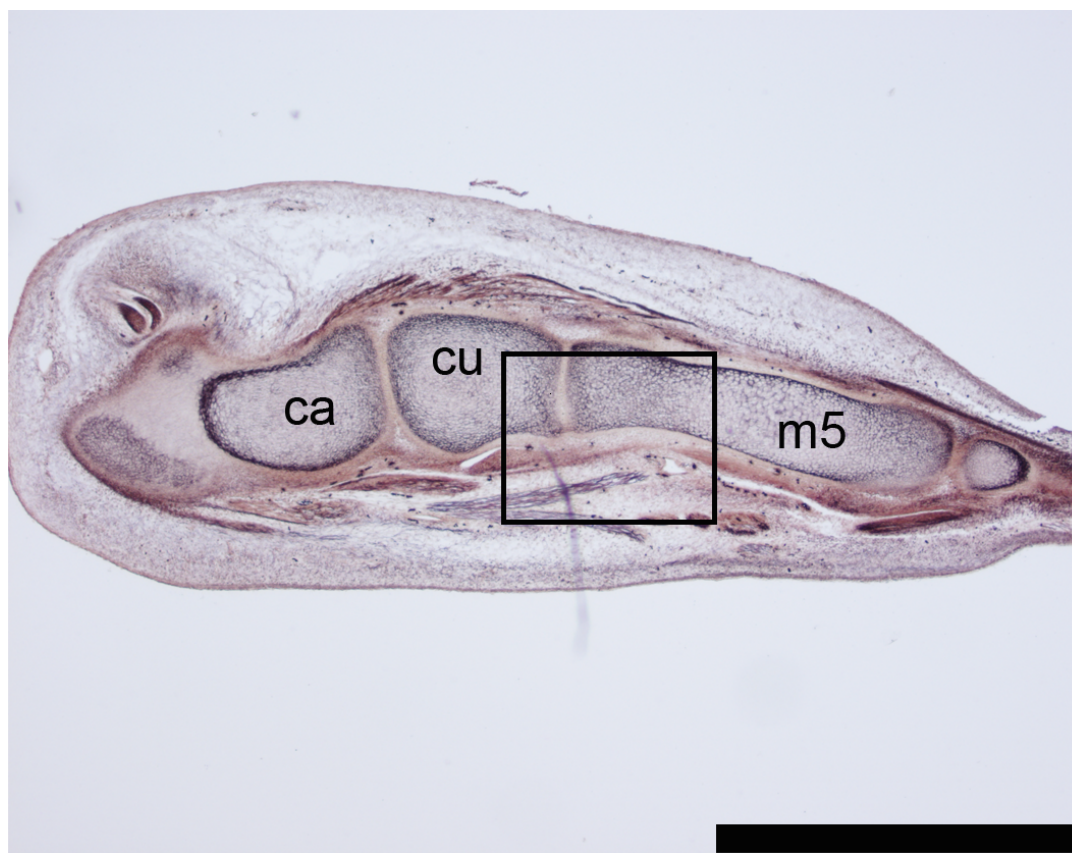


Figura 23. Feto de nueve semanas (34mm). Sección sagital del aspecto lateral del pie. Nótese el desarrollo de la articulación peroneocuboidea respecto al estadio embrionario 23.

Barra de escala: 1000 μ m. Ca: calcáneo; cu: cuboides; m5: quinto metatarsiano.

A partir de los fetos de 37mm (9 semanas), la superficie lateral plantar del cuboides, que es la que articula con el tendón del peroneo largo, se presenta desprovista del tejido fibroso normal que rodeaba al hueso cuboides en estadios anteriores. En este estadio el cuboides y el tendón del peroneo largo entran en contacto directo (Figura 25).

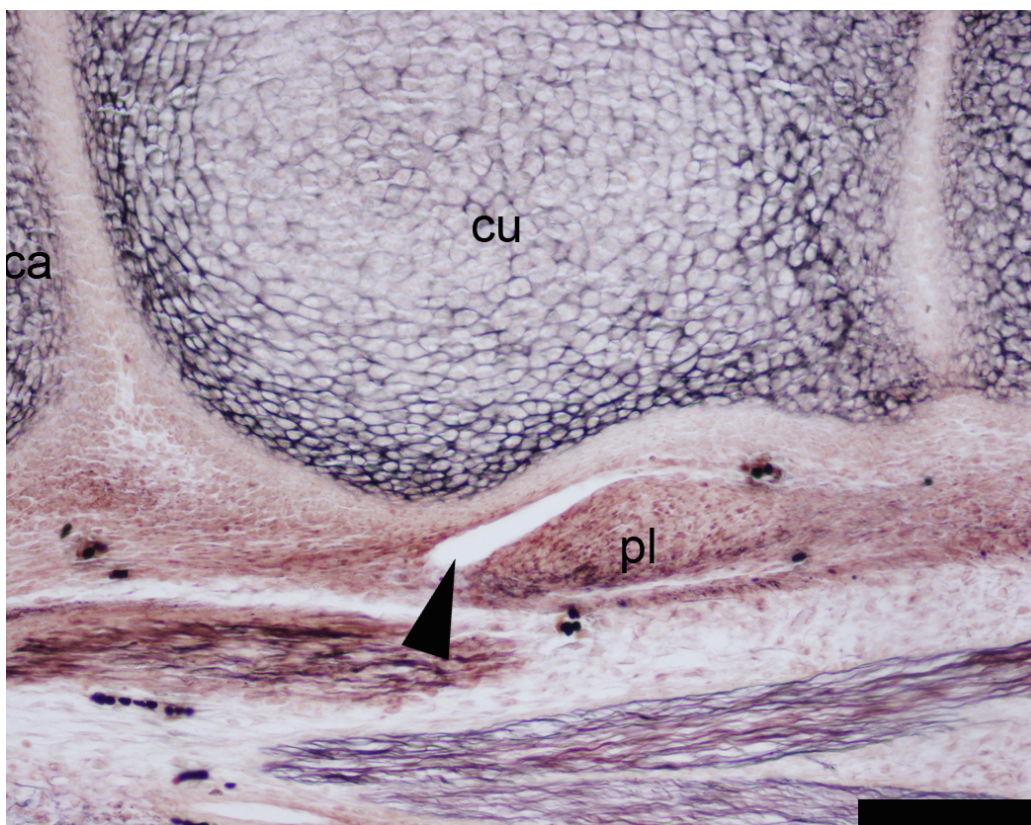


Figura 24. Feto de nueve semanas (34mm). Sección sagital del aspecto lateral del pie (ampliación figura 23). Nótese la regresión del tejido existente en la figura 17 (estadio 23) entre el tendón peroneo largo y la cara lateral del cuboides.

Barra de escala: 100 μ m. Cu: cuboides; pl: tendón del peroneo largo.

Observando con detalle la articulación peroneocuboidea en diversos fetos, pudimos observar la tendencia hacia la diferenciación celular en la cara medial del tendón del peroneo largo. Esta cara presentó una capa claramente diferenciada de tejido fibroso o fibrocartilaginoso en un feto de 150mm (17 semanas) y en dos especímenes más de 177 mm y 332 mm respectivamente (19 y 32 semanas). También se pudo observar la articulación peroneocuboidea desarrollada con una apariencia similar a la del adulto (Figuras 26 y 27).

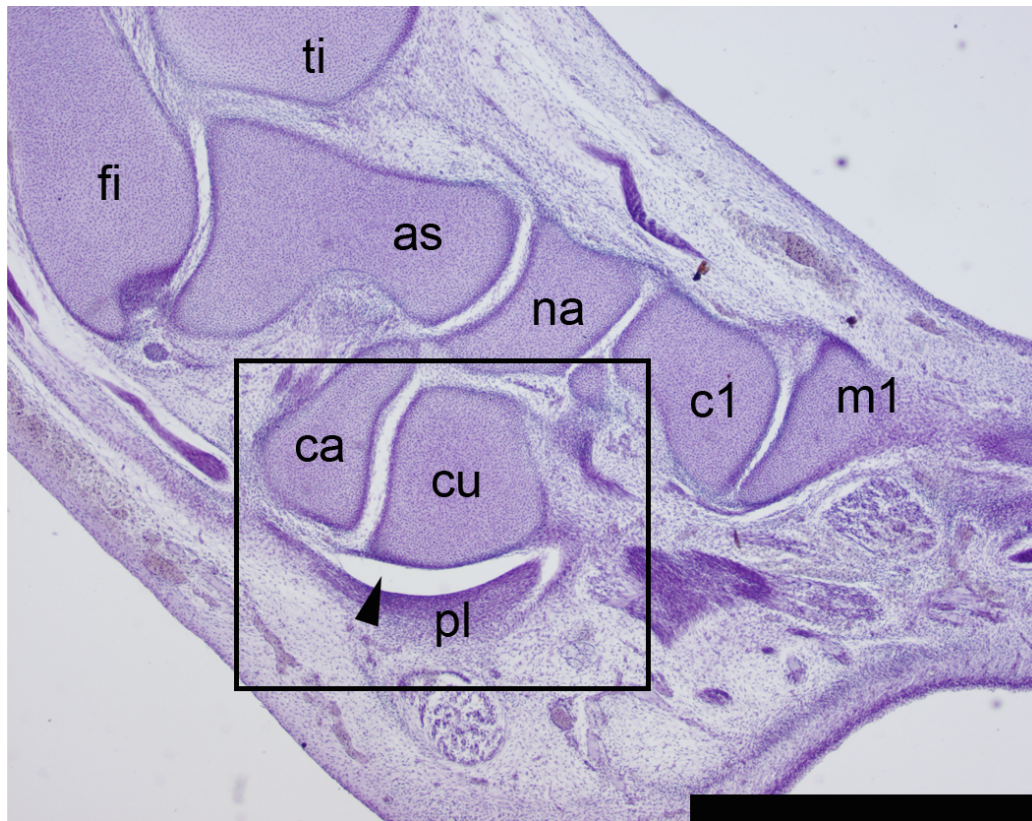


Figura 25. Feto de 9 semanas (37mm). Sección sagital.

Se puede observar la regresión del tejido fibroso entre el cuboides y el tendón del peroneo largo. Nótese el contacto directo entre el tendón del peroneo largo y el cuboides y el incremento de tamaño y la definición de la articulación peroneocuboidea (cabeza de flecha).

Barra de escala: 1000 μ m. As: astrágalo; ca: calcáneo; cu: cuboides; na: escafoides (navicular); c1: primer cuneiforme; fi: peroné (fibula); m1: primer metatarsiano. pl: tendón del peroneo largo

Progresando en el periodo fetal (19-32 semanas), pudimos delimitar la extensión de la articulación peroneocuboidea. Proximalmente, se extendió hasta el nivel de la articulación calcáneocuboidea (Figuras 28 y 29) y pudimos apreciar su extensión distal hasta la inserción del tendón del peroneo largo en la base del primer metatarsiano. Esta articulación nunca estuvo en contacto con la vaina tendinosa proximal del peroneo largo (Figuras 30 y 31).

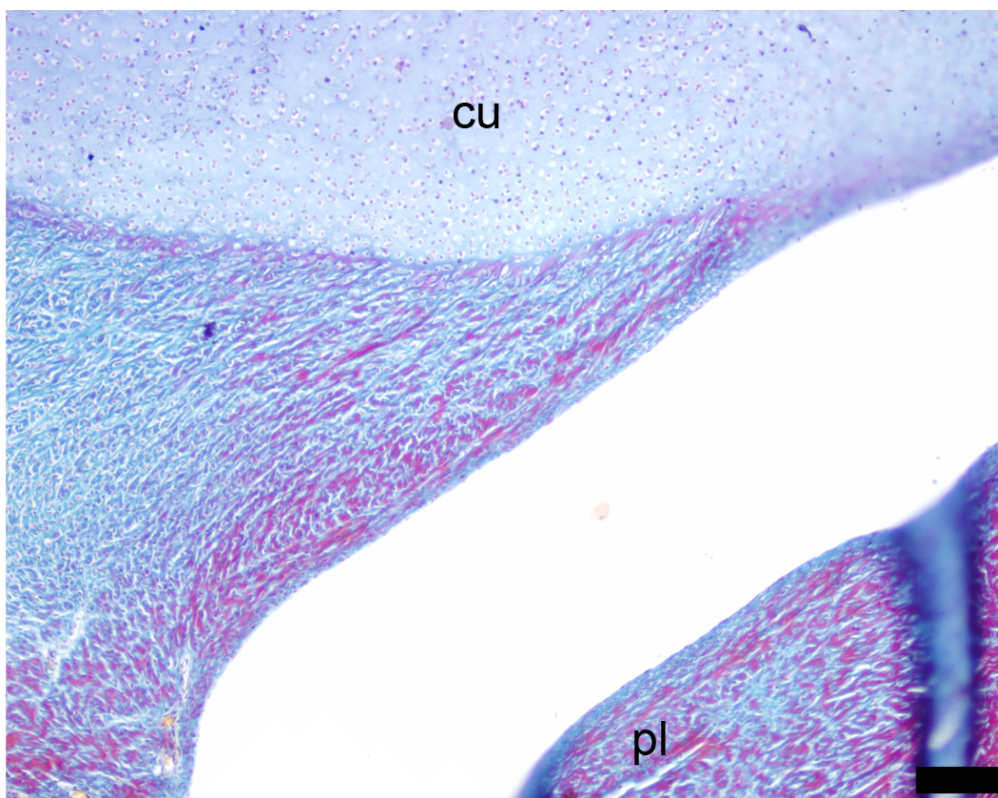
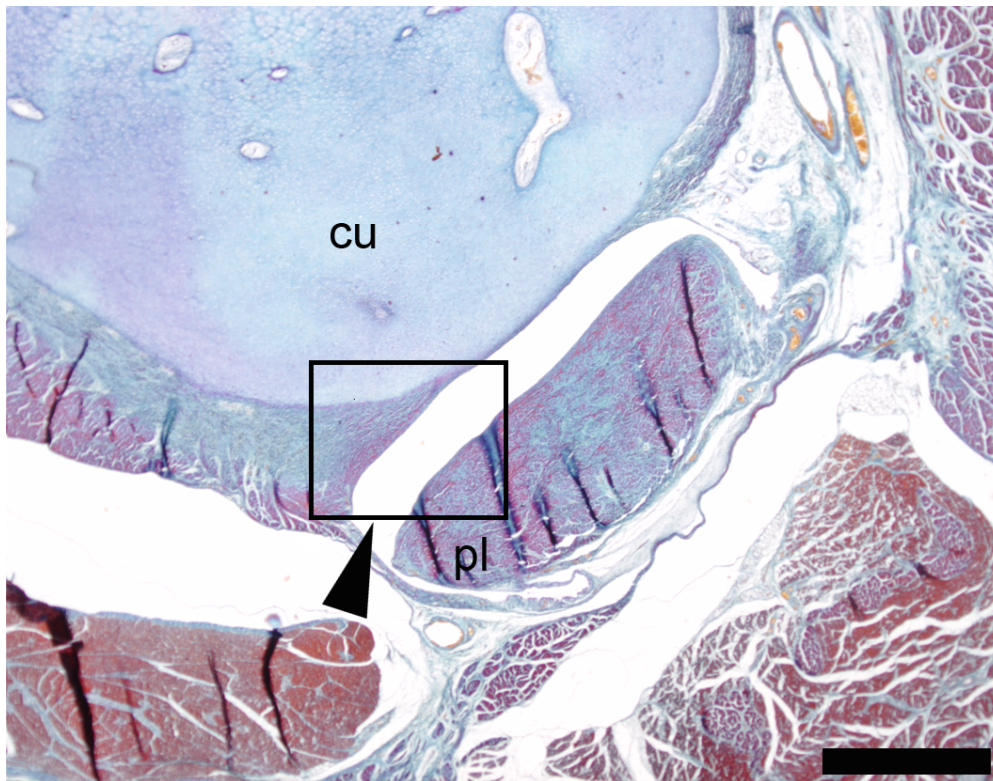
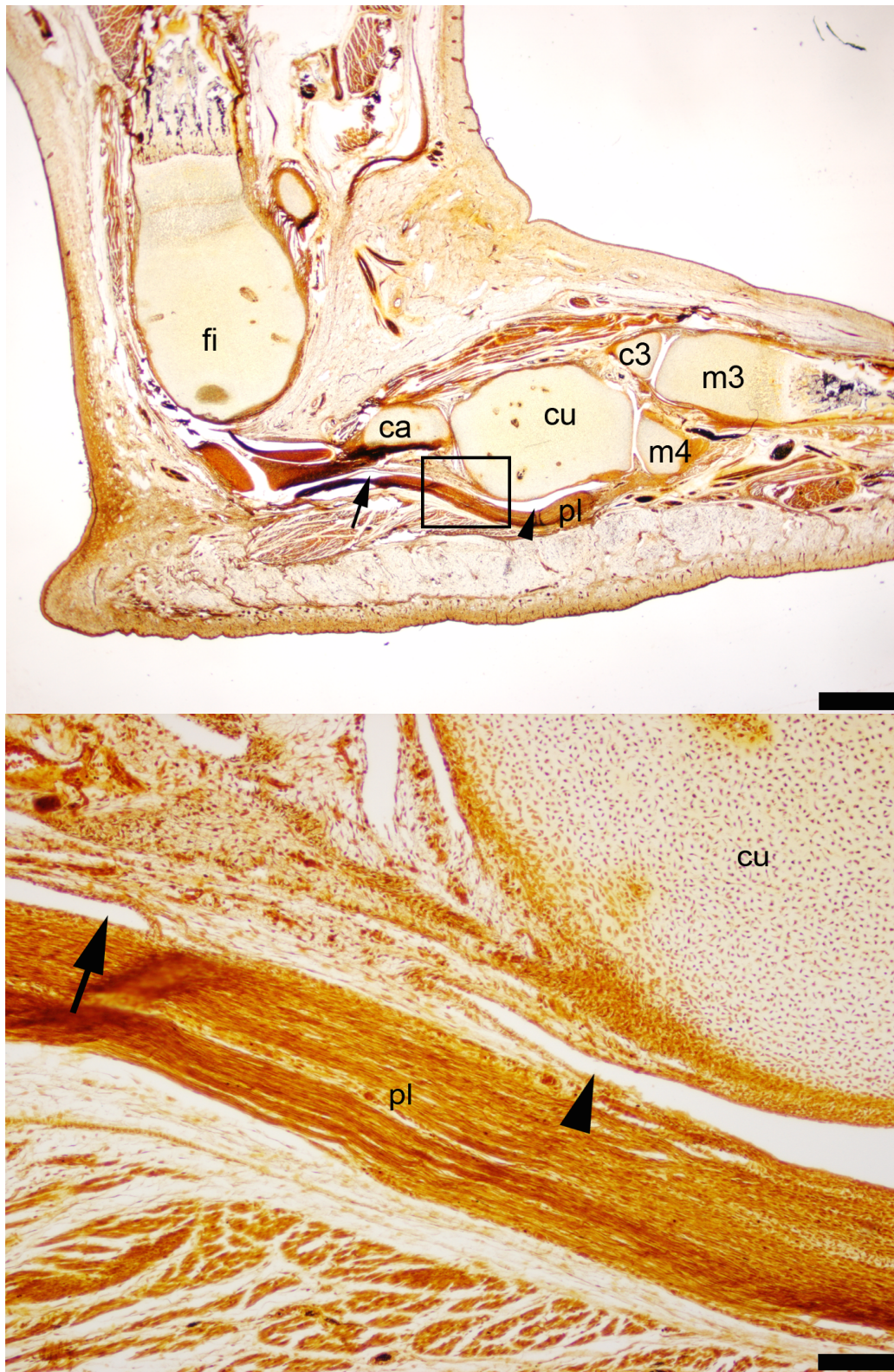


Fig. 26 y Fig. 27 (ampliación fig. 26). Feto de 17 semanas (150mm). Sección sagital.

Obsérvese la articulación peroneocuboidea completamente desarrollada con una apariencia muy similar a la del adulto (cabeza de flecha). Nótese el recubrimiento por una capa fibrosa fibrocartilaginosa en el borde medial del tendón del peroneo largo.

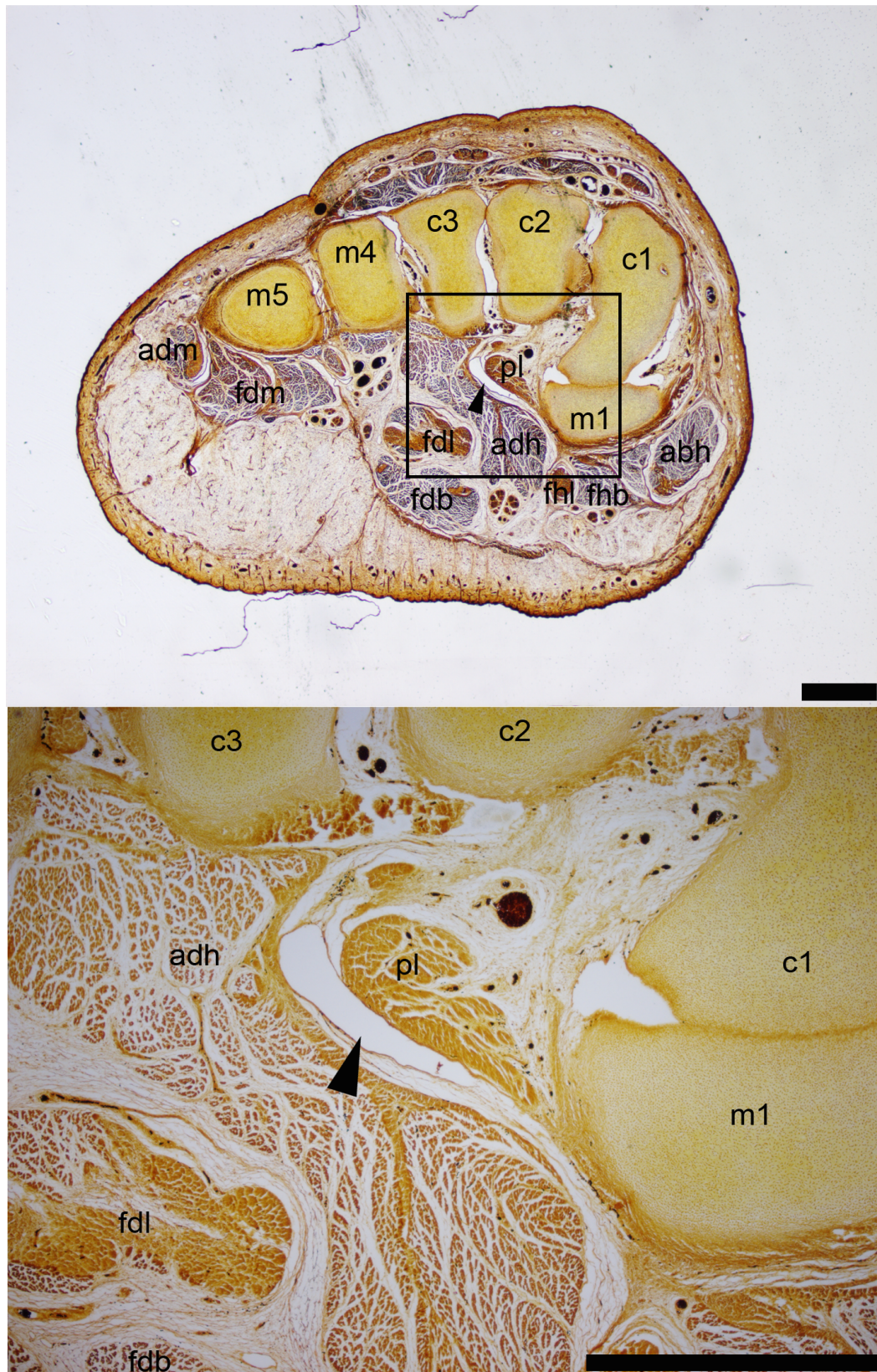
Barra de escala: 1000 μ m (fig. 21); 100 μ m (fig. 22).

Cu: cuboides; pl: tendón peroneo largo.



Figuras 28 y 29. Límite proximal de la articulación peroneocuboidea en pies fetales. Sección sagital. (29 ampliación de fig. 28). Nótese la separación entre la vaina sinovial proximal (flecha) y la articulación peroneocuboidea (cabeza de flecha) mediante la membrana sinovial de la articulación.

Barra de escala: 1000 μm (fig. 23) 100 μm (fig. 24). Cu: cuboides; pl: peroneo largo.



Figuras 30 y 31. Límite distal de la articulación peroneocuboidea en pies fetales. Sección frontal. (31 ampliación de fig. 30). Nótese la inserción del tendón del peroneo largo en el primer metatarsiano y la extensión distal de la articulación peroneocuboidea (cabeza flecha). Barra de escala: 1000 μ m (fig. 25); 100 μ m (fig. 26). Pl: peroneo largo; fdl: flexor largo de los dedos; fdb: flexor corto de los dedos; adh: aductor del dedo gordo.

En los fetos con mayor edad gestacional de la muestra (177 mm y 332 mm; 19 y 32 semanas) pudimos observar unas bandas fibrosas/tendinosas que anclan el tendón del peroneo largo a los tejidos circundantes. Estas bandas se corresponden con los ligamentos frenulares anterior y posterior.

El ligamento frenular posterior unió el tendón del peroneo largo al ligamento calcáneoecuboideo o a la fascia lateral o profunda del flexor corto de los dedos. El ligamento frenular anterior unió el tendón del peroneo largo a la base del quinto metatarsiano (Figura 32 y 33). También pudimos observar inserciones adicionales al cuarto músculo interóseo dorsal y al flexor corto del quinto dedo (Figura 34 y 35).

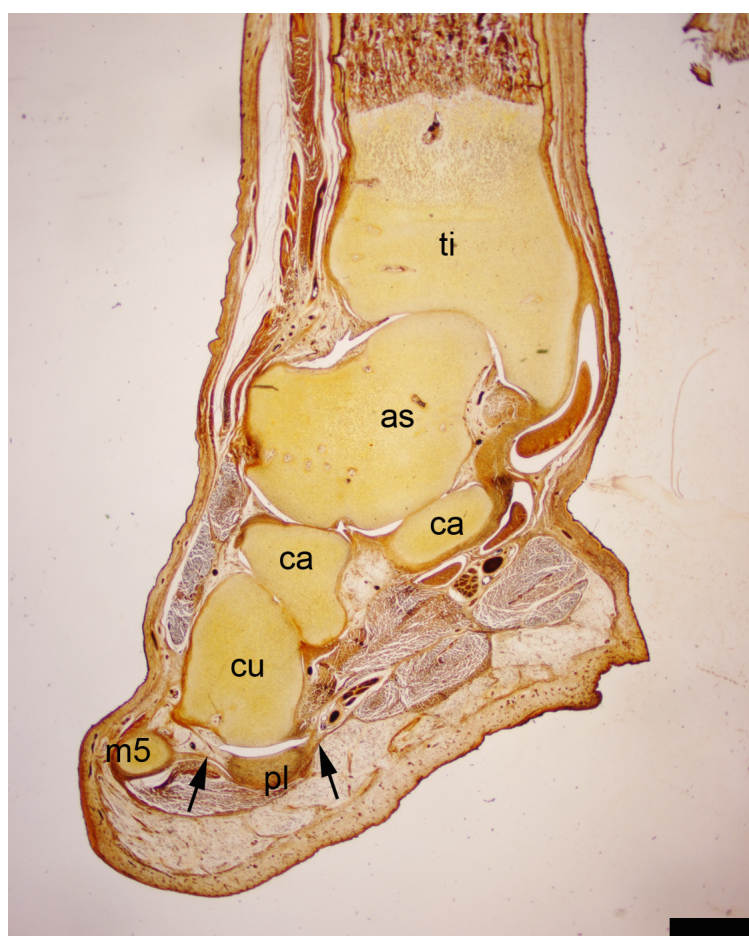


Fig. 32. Sección oblicua/sagital de un pie fetal mostrando los ligamentos frenulares (flechas).

Ti: tibia; ca: calcáneo; as: astrágalo; cu: cuboides; pl: peroneo largo.

Barra de escala: 1000 μ m

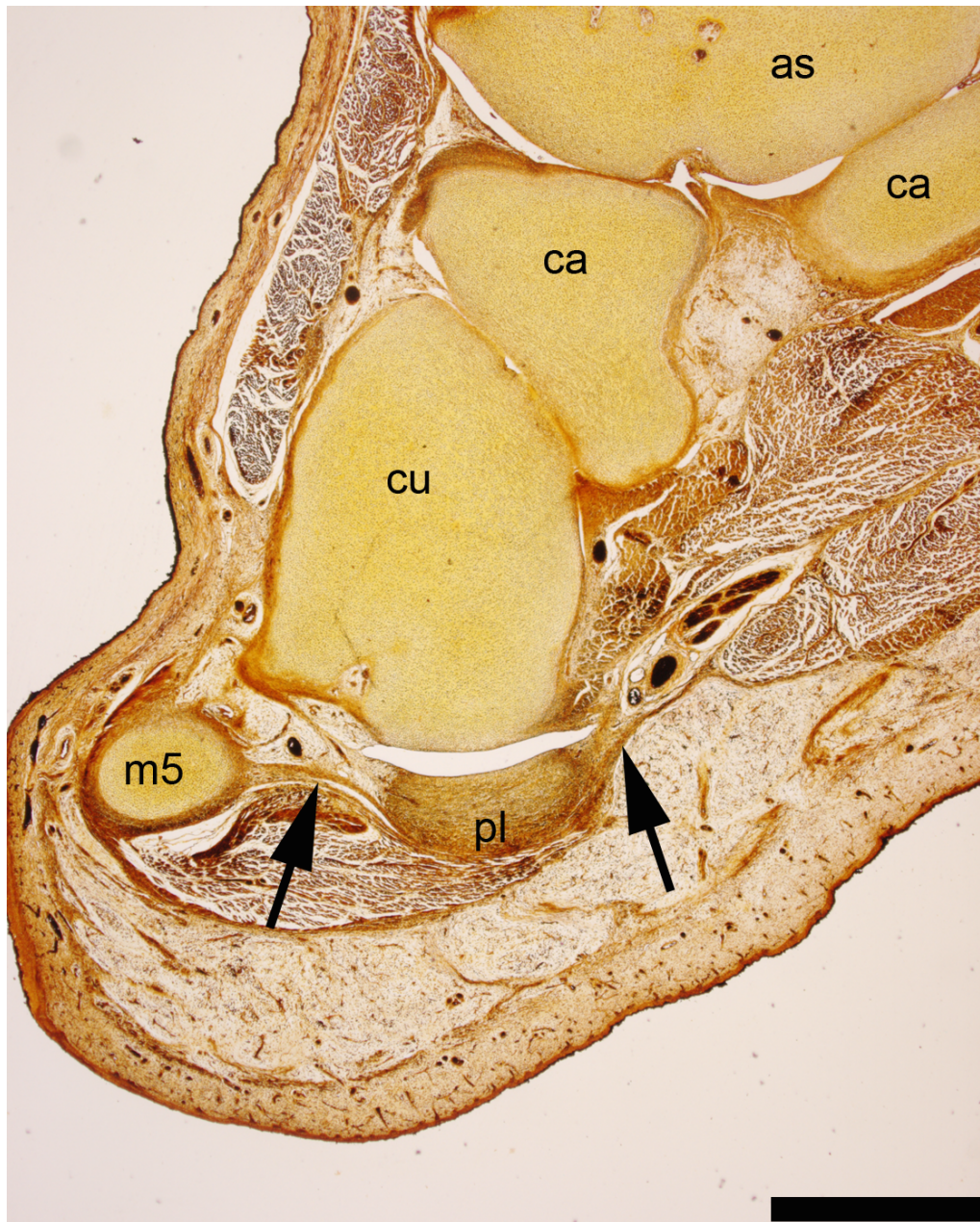
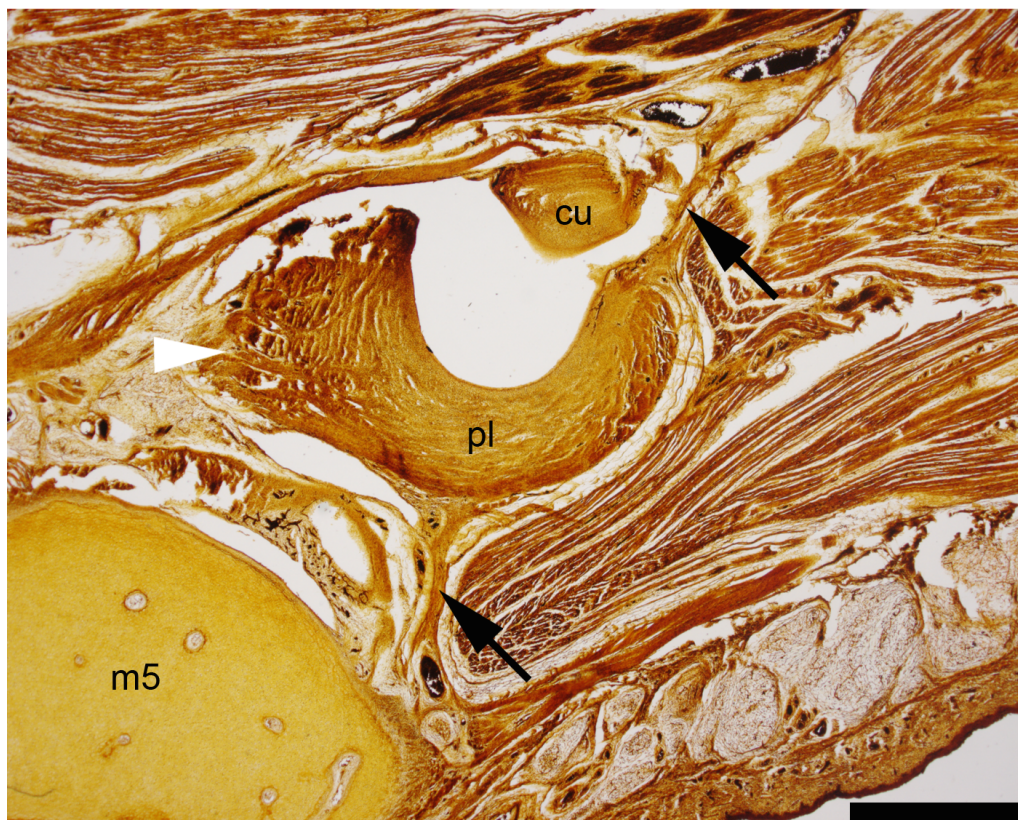
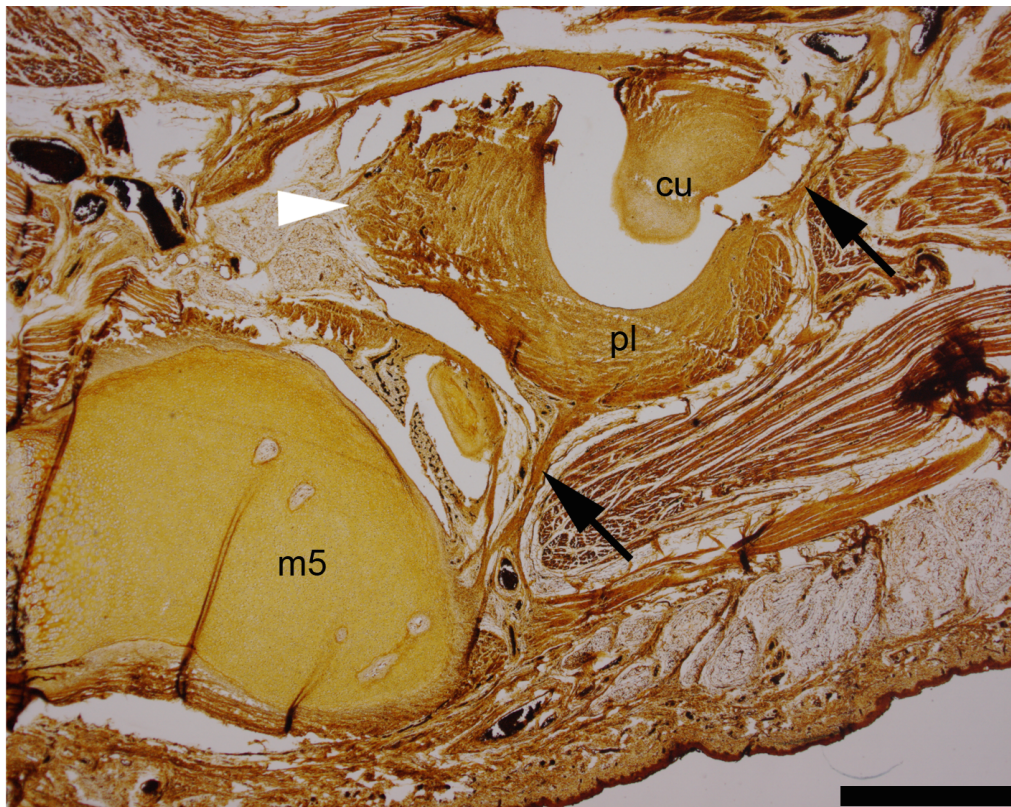


Figura 33. Sección oblicua/sagital de un pie fetal mostrando los ligamentos frenulares (flechas) (Ampliación de fig. 32). Nótese la inserción del ligamento frenular anterior en la base del quinto metatarsiano y el ligamento frenular posterior que une el tendón del peroneo largo con el ligamento calcáneocuboideo largo o a la fascia profunda del flexor corto de los dedos.

Barra de escala: 1000 μ m. Cu: cuboides; m5: quinto metatarsiano; pl: peroneo largo; ca: calcáneo.



Figuras 34 y 35. Secciones transversas consecutivas de un mismo pie fetal. Se pueden observar con claridad los ligamentos frenulares anterior y posterior (flechas negras). Nótese adicionalmente la inserción adicional del tendón del peroneo largo en la musculatura interósea (cabeza flecha blanca). Barra de escala: 100 μ m. Cu: cuboides; pl: tendón peroneo largo; m5: quinto metatarsiano.

El desarrollo de estos ligamentos frenulares y sus inserciones adicionales empezó simultáneamente al del desarrollo de la masa tendinosa principal. En el estadio embrionario 23 los ligamentos frenulares ya eran identificables emergiendo desde los bordes anteriores o posteriores del tendón del peroneo largo (figuras 21 y 22). Durante el periodo fetal, se observó un aumento progresivo en el grosor de los ligamentos frenulares mostrando una apariencia histológica similar al de la masa tendinosa principal (figuras 33-35).

Las secciones transversales seriadas del tendón del peroneo largo no mostraron homogeneidad a lo largo de su recorrido. A nivel de la articulación peroneocuboidea, se pudo observar un aumento en el grosor del tendón (figuras 32 y 33). Este engrosamiento coincidió con la forma y la posición del os peroneum en el adulto.

Estudio anatómico, radiológico e histológico de los pies adultos.

Del número total de especímenes adultos estudiados, 37 pies (la muestra total incluía inicialmente 38 pero uno de ellos estaba dañado debido a disecciones previas y fue excluido del estudio), el ligamento frenular anterior estuvo presente en solitario en el 29,7% (figura 36) y el ligamento frenular posterior estuvo presente en el 5,4% (figura 37), presentándose simultáneamente ambos ligamentos en el 59,5% (Tabla 2). La morfología de esos ligamentos varió desde bandas fibrosas finas hasta expansiones gruesas y anchas hacia las estructuras circundantes con inserciones adicionales ocasionales al cuarto interóseo dorsal y al flexor corto del quinto dedo. Durante la disección de la articulación peroneocuboidea se comprobó que ésta fue en todos los casos independiente de la vaina tendinosa proximal (figura 38).

	No LFA No LFP	LFA	LFP	LFA + LFP	Total
OP osificado	1	2	2	6	11 (29,7%)
OP Fibrocartilaginoso	1	9	0	16	26 (70,3%)
Total	2 (5,4%)	11 (29,7%)	2 (5,4%)	22 (59,5%)	37 (100%)

Tabla 3. Incidencia del ligamento frenular anterior (LFA) y el ligamento frenular posterior (LFP) en asociación con un os peroneum (OP) osificado o fibrocartilaginoso.

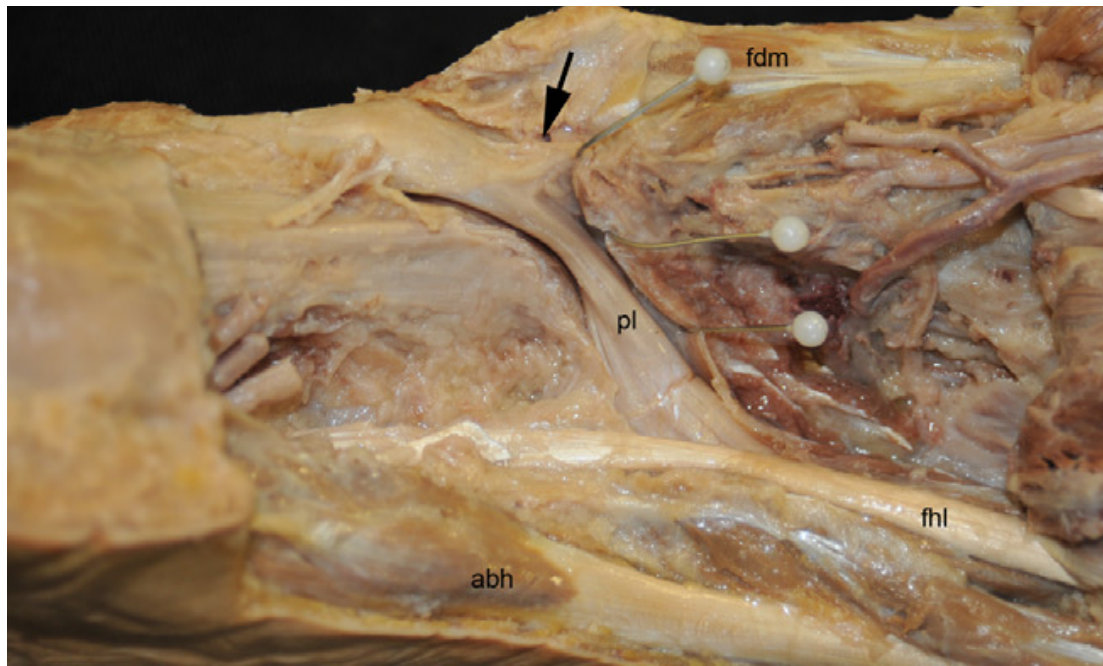


Figura 36. Pie adulto. Visión plantar. Obsérvese el ligamento frenular anterior (flecha) cómo se inserta en la base del quinto metatarsiano.

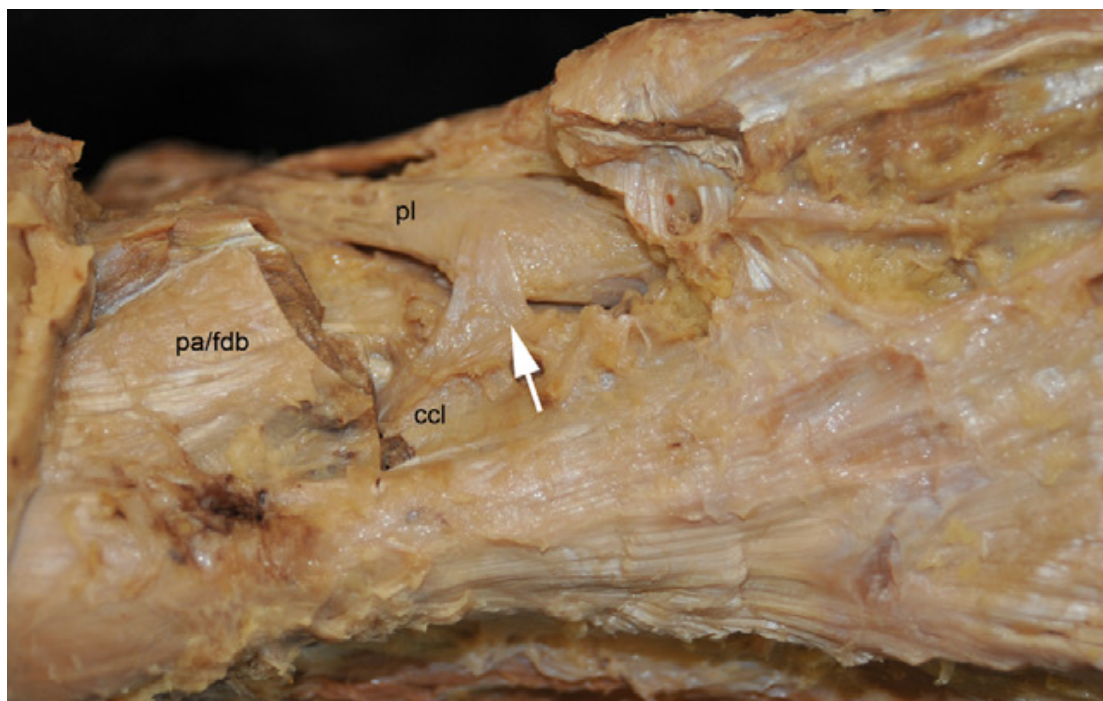


Figura 37. Pie adulto. Visión plantar. Obsérvese el ligamento frenular posterior (flecha blanca) insertándose en el ligamento calcáneo cuboideo (ccl).

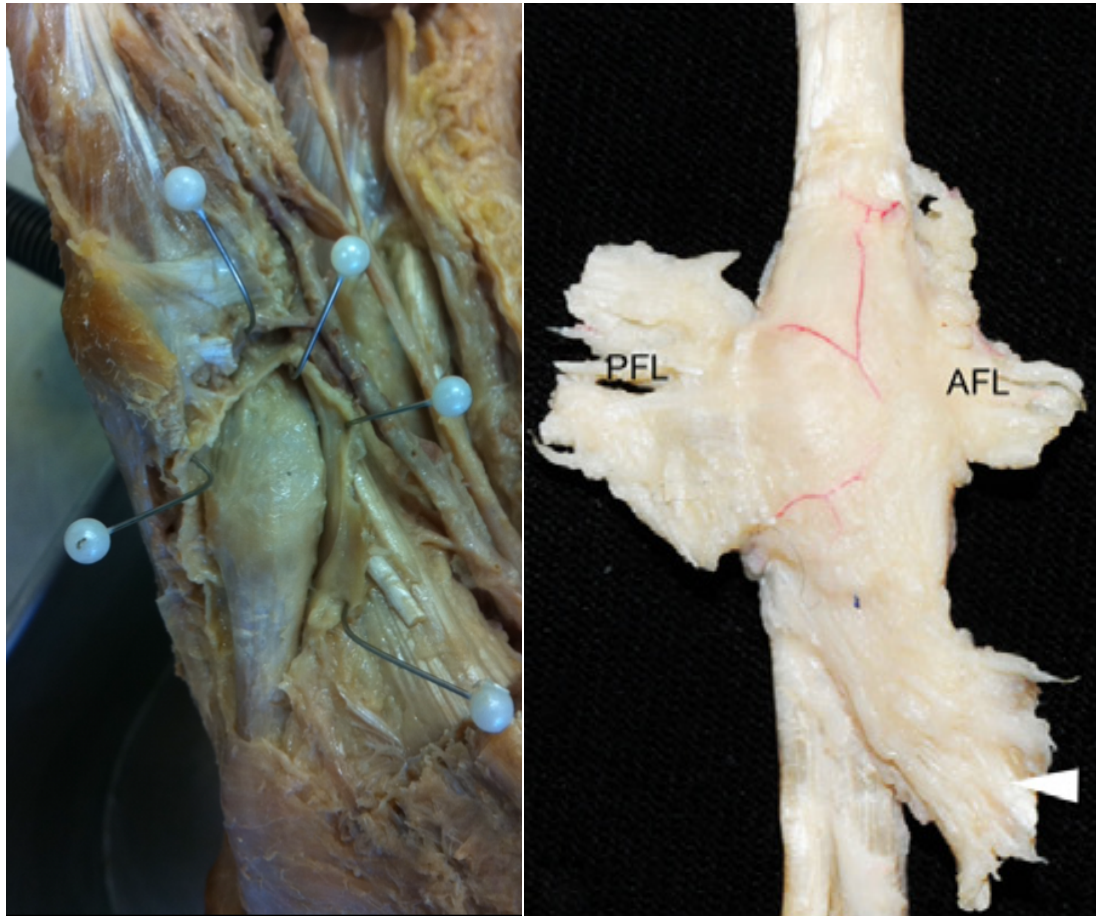


Figura 38. Pie adulto. Disección de la articulación peroneocuboidea (izquierda) y detalles de los ligamentos frenulares (derecha).

Tras la apertura de la membrana (separada por alfileres; izquierda) se puede observar la cavidad articular y su extensión proximal. En ningún espécimen se documentó continuidad con la vaina tendinosa proximal. Tendón del peroneo largo adulto (derecha) extraído de un pie derecho. Obsérvese los ligamentos frenulares y la inserción adicional a la musculatura interósea dorsal.

El os peroneum, tras someter las muestras de tendón de peroneo largo a nivel de la articulación peroneocuboidea a radiografías simples, estuvo presente en un estado osificado, visible en radiografías simples, en un 29,7% de los casos (figura 32) y en el resto, en un estado no osificado (70,3%). Ambos estados fueron

confirmados macroscópicamente como un engrosamiento visible y palpable del tendón.

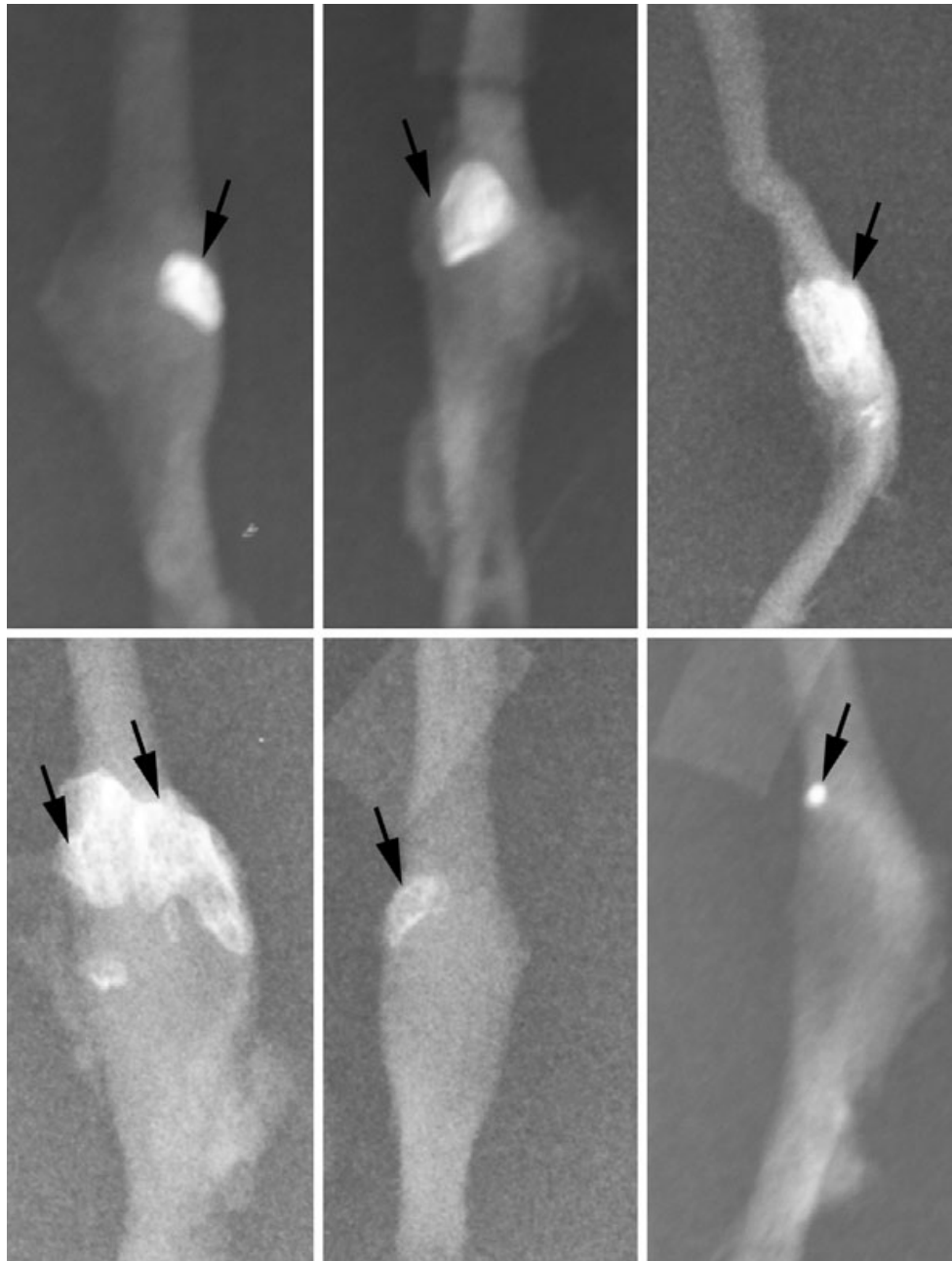


Figura 39. Resultado radiográfico de algunos de los segmentos de tendones de peroneo largo aislados que presentaron osificación radiográfica. Nótese la variedad de tamaños, formas y localizaciones de las calcificaciones.

El os peroneum osificado presentó en las radiografías simples un rango de formas y tamaños variables así como pequeñas calcificaciones fuera de la zona cuboidea (figura 39).

El test de la chi-cuadrado no mostró relación entre la presencia de ligamentos frenulares y la presencia o ausencia de un os peroneum osificado ($P < 0.005$).

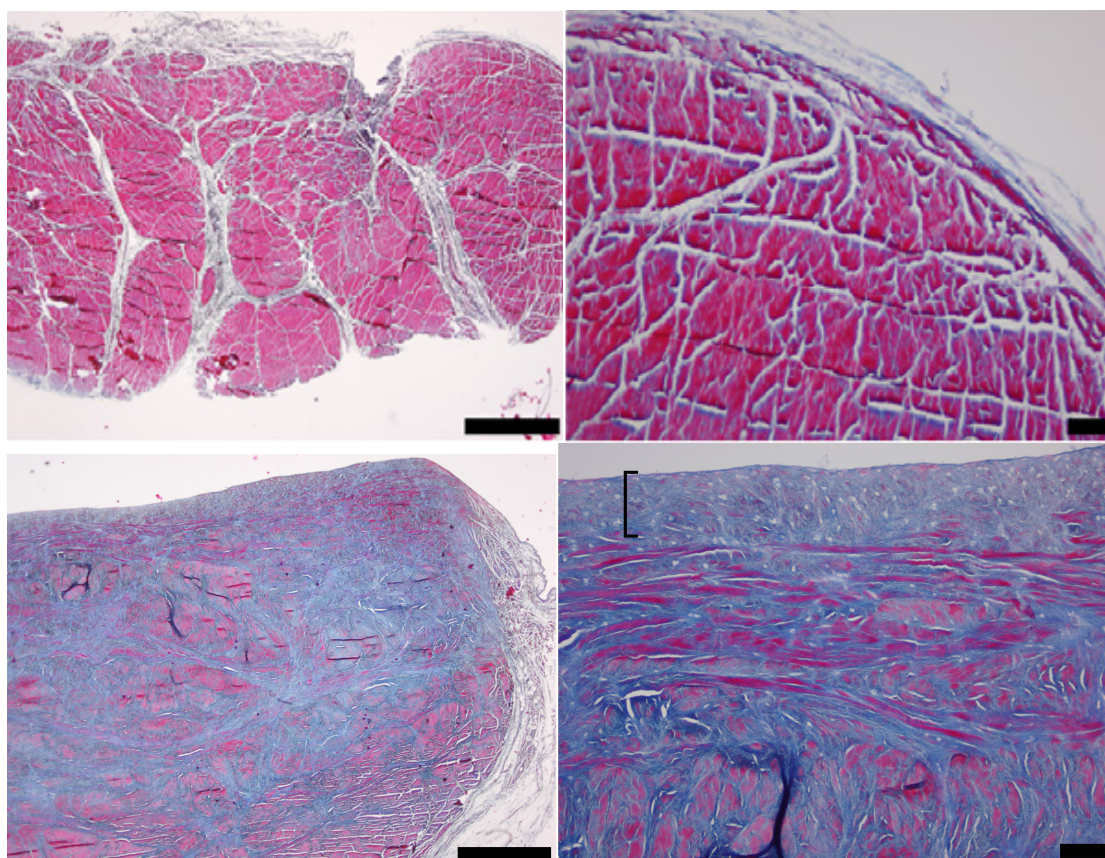


Figura 40. Secciones histológicas del tendón del peroneo largo proximal a la articulación peroneocuboidea en pies adultos, fotografías superiores. Secciones del tendón del peroneo largo a nivel de la articulación peroneobuoidea en pies adultos, fotografías inferiores. Nótese el gran aumento de fibras elásticas (tinción azul) rodeando las fibras de colágeno (tinción roja). Nótese la superficie articular del tendón del peroneo largo (corchetes).

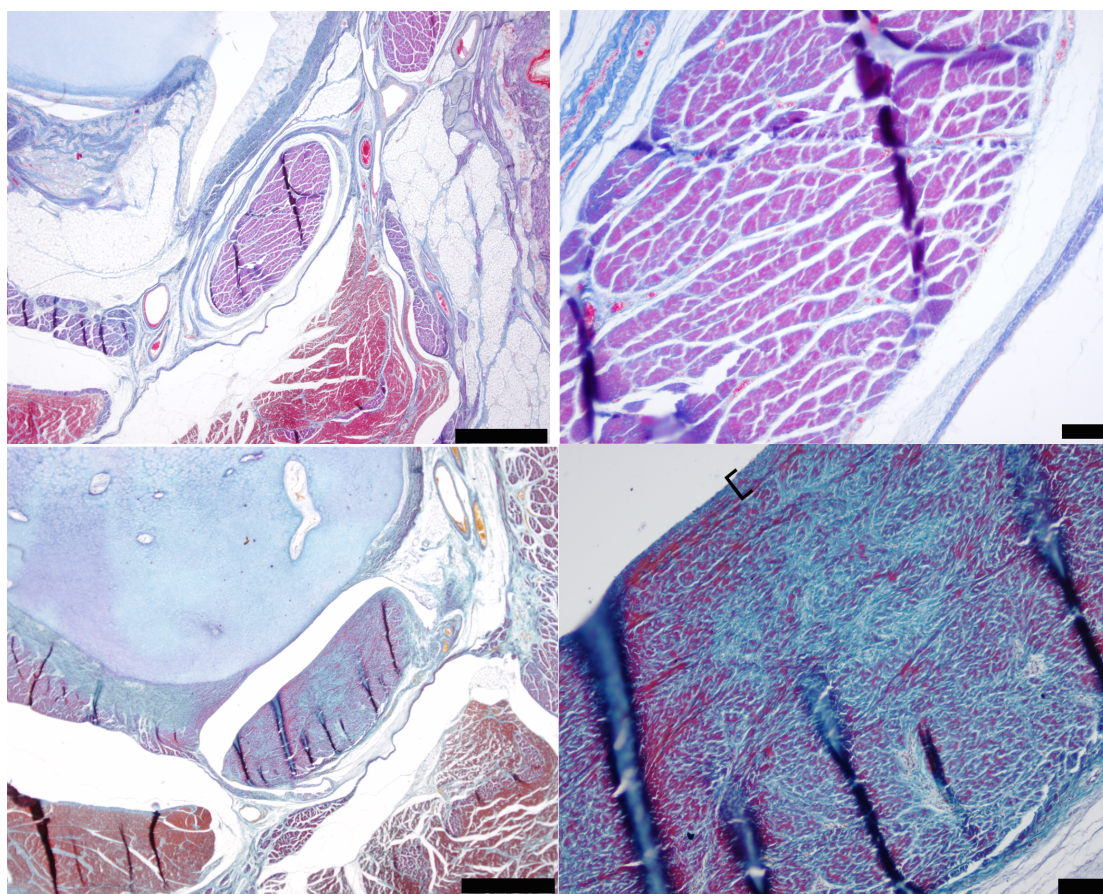


Figura 41. Secciones histológicas del tendón del peroneo largo proximal a la articulación peroneocuboidea en pies fetales, fotografías superiores. Secciones del tendón del peroneo largo a nivel de la atirculación peroneobuoidea, fotografías inferiores. Nótese el aumento de fibras elásticas (tinción azul) rodeando las fibras de colágeno (tinción roja) y la superficie articular del tendón (corchetes).

Mediante disección macroscópica estándar y palpación directa se apreció una estructura intratendinosa de consistencia más dura y pétrea que en el resto del tendón proximal o distal a la región de la articulación peroneocuboidea en todos los especímenes disecados, coincidiendo con la zona donde se apreció os peroneum osificado en radiografías simples. El estudio histológico confirmó que los os peroneum no osificados se correspondían con un área de tejido fibroso o fibrocartilaginoso presentando un incremento de fibras elásticas en comparación con la estructura proximal del tendón (figura 40). También, se pudo observar

una fina capa fibrosa o fibrocartilaginosa en la zona de contacto con el cuboides no sólo en muestras adultas sino también en todos los fetos mayores de 17 semanas, así como un incremento de fibras elásticas en comparación con la estructura proximal del tendón (figura 41). El hueso cuboides en la muestra de pies adultos, presentó carilla articular para el tendón del peroneo largo en todos los casos.

6.- DISCUSIÓN

El os peroneum es un hueso sesamoideo de morfología redonda/ovalada que se encuentra en la intrasustancia del tendón del músculo peroneo largo. Está localizado en la región distal en la que el tendón contacta con el hueso cuboides para cambiar su dirección hacia su inserción en la cara plantar del primer metatarsiano (Sarrafian, 1993). Se suele observar en radiografías simples como una osificación completa, bipartita o multipartita. Su incidencia de osificación radiográfica ha variado entre el 4% y el 30% (Thompson y cols. 1989; Sobel y cols. 1994; Brandes y Smith, 2000; Heckman y cols. 2009; Sammarco y cols., 2010). Por otro lado, su incidencia en estudios anatómicos ha sido mayor, llegando al 90% (Oyedele y cols. 2006). Otros autores han afirmado que “el os peroneum está siempre presente en un estado osificado, cartilaginoso o fibrocartilaginoso” (Sarrafian, 1993).

En el presente estudio el os peroneum estuvo presente en un estado osificado en un 29,7% y en el resto en un estado no osificado (70,3%). Sin embargo, según otros autores la incidencia radiográfica es menor, variando entre 4,7% y 14% (Sarin y cols., 1999; Coskun y cols., 2008). Estas diferencias en la incidencia de osificación radiográfica del os peroneum pueden ser debidas a que las radiografías en nuestro estudio fueron hechas directamente sobre tendones aislados, no sobre pies completos y por tanto, no se han producido enmascaramientos de pequeñas calcificaciones que pueden darse en el caso de sujetos vivos (Siecke, 1964). De todas maneras, nuestros resultados coinciden con estudios previos de similares características (Muehleman y cols., 2009; Grinbaun y cols., 2009; Mittal y cols., 2014). Cabe destacar también que la edad media de la muestra puede ser un factor influyente ya que se ha afirmado que la

osificación del os peroneum comienza en la adolescencia y puede darse hasta después de los 50 años de edad, lo cual podría haber influido en la incidencia radiográfica de os peroneum, puesto que la edad media de nuestra muestra de pies adultos fue de 79 años (Le Minor, 1987); aunque estudios posteriores no han encontrado relación entre la osificación de os peroneum y la edad (Rühli y cols., 2003; Oyedele y cols., 2006).

Hemos observado un engrosamiento oval palpable en la región del tendón del peroneo largo cuando entra en contacto con la cara lateral del cuboides en todos los especímenes adultos examinados. Estudios anatómicos previos coinciden con el hallazgo constante de engrosamientos ovales o redondeados de consistencia pétrea y dura a la palpación en la misma región peroneo-cuboidea (Oyedele y cols., 2009; Grimbaun y cols., 2009; Benninger y Kloenne, 2011; Mittal y cols., 2014).

Debido a que se cree que muchos sesamoideos experimentan osificación endocondral a partir de tejido cartilaginoso, es esperable encontrar diferentes grados de osificación en el os peroneum (Muehleman y cols., 2009). En el presente estudio el os peroneum mostró calcificaciones de diferentes formas y tamaños (figura 32), coincidiendo con descripciones previas sobre la morfología de la osificación del os peroneum (Bessette y Hodge, 1998). No encontramos osificaciones radiográficas que en previos estudios se han catalogado como dudosas, aunque posteriormente tras su análisis histológico sólo se encontrara osificación en uno de los ocho casos dudosos (Grimbaun y cols., 2009).

El análisis histológico de los tendones que no presentaron osificación radiográfica, confirmó que se correspondió a un área de tejido fibroso o fibrocartilaginoso con un aumento de fibras elásticas comparado con la estructura proximal del tendón. Hasta donde sabemos, ningún estudio ha comparado la estructura histológica del tendón a nivel de la región peroneo-cuboidea con la estructura histológica del tendón del peroneo largo proximal a la misma. De todas maneras, diversos autores han confirmado la presencia de fibrocartílago en la intrasustancia del tendón del peroneo largo y en especial en su cara articular tras análisis histológicos de los os peroneum no osificados (Sobel y cols., 1994; Grinbaun y cols., 2009; Mittal y cols., 2014).

Algunos autores afirman que el fibrocartílago observado en el peroneo largo forma parte de un espectro continuo de tejidos desde el tejido conectivo denso hasta cartílago hialino (Benjamin y Ralphs, 1998). Sarrafian (1993) afirma que el engrosamiento fibrocartilaginoso está siempre presente en la región de la articulación con el cuboides. En Gray's Anatomy (2005), se describe la incidencia de os peroneum cercana al 95%, aunque en estado osificado únicamente en el 20% de los casos, usando la palabra os de manera genérica y poco específica sin entrar en demasiado detalle sobre la definición de os peroneum.

La diferencia en la incidencia de la aparición de os peroneum en función de estudios radiológicos o histológicos ha sido fuente de debate (Muehleman 2009; Oyedele 2006). Estos autores no se ponen de acuerdo sobre a qué llamar os peroneum, si a una calcificación visible en radiografías o a tejido óseo identificable en estudios histológicos o a un engrosamiento palpable del tendón del peroneo largo de consistencia pétrea presente en la región de la articulación

peroneocuboidea. Se ha afirmado también que el os peroneum está siempre presente bien estado óseo, cartilaginoso o fibrocartilaginoso (Sarrafian, 1993). Recientemente en este contexto se ha recomendado que se adopte el término “sesamoideo peroneal” debido a que la palabra “os” puede llevar a confusiones porque, en alrededor del 70% de los casos según las series y coincidiendo con los resultados del presente estudio (70,3% de os peroneum no osificado), no se puede objetivar calcificación o tejido óseo a nivel histológico, pero el tendón siempre presenta un engrosamiento a nivel peroneocuboideo (Mittal y cols., 2014). Los resultados de nuestro estudio están en concordancia con datos previos tanto por la incidencia de osificación radiográfica como por el hallazgo de un engrosamiento palpable a nivel de la articulación peroneocuboidea. No es el objetivo del presente trabajo discutir sobre la idoneidad o no de la palabra “os”, aunque es cierto que puede ser fuente de confusión y de debate.

Como se ha comentado previamente, el tendón del peroneo largo y el os peroneum están íntimamente relacionados con la pared lateral del calcáneo y la superficie lateral y plantar del cuboides en el túnel cuboideo. En dicha región han sido descrito unos ligamentos de sujeción llamados ligamentos frenulares anterior y posterior que unen el os peroneum en estado osificado o no y el tendón del peroneo largo a las estructuras adyacentes como la base del quinto metatarsiano o el ligamento calcáneocuboideo largo, respectivamente (Stieda, 1889a,b,c;; Picou1894b; Le Double 1897; Drexler, 1958). La incidencia descrita más reciente publicada encontró el ligamento frenular anterior en el 83,3% y el posterior en el 13,3% de los casos (Patil y cols. 2007).

En el presente estudio el ligamento frenular anterior, banda que une el os peroneum con la base del quinto metatarsiano, fue encontrado en un 29,7% de los casos de manera aislada. El ligamento frenular posterior, uniendo el os peroneum al ligamento calcáneo-cuboideo, fue encontrado de manera aislada en un 5,4% de los casos, encontrándose ambos simultáneamente en un 59,5% de los especímenes estudiados. Hemos encontrado una incidencia aislada inferior del ligamento frenular posterior en comparación con estudio previos (Picou, 1894; Sarrafian, 1993; Patil y cols., 2007). Esto puede ser debido a la morfología observada incluyendo desde bandas fibrosas finas hasta bandas anchas y gruesas dificultando así la clasificación de si se tratan de ligamentos o no. Aunque cabe destacar que la presencia de ambos ligamentos ha sido alta (59,5%). Coincidiendo con Patil y cols., (2007) encontramos inserciones adicionales del cuarto interóseo dorsal y del flexor corto del quinto dedo cerca del ligamento frenular anterior (figuras 29 y 30).

Una de las teorías que trata de explicar el origen del os peroneum se basa en el concepto de que su presencia está relacionada con la existencia de inserciones anómalas del tendón del peroneo largo (Drexler, 1958). Estas inserciones anómalas son de hecho los ligamentos frenulares y pueden ser encontrados en ausencia de os peroneum osificado (Le Double, 1897). En nuestro estudio no se encontró relación entre la presencia de ligamentos frenulares y la presencia o no de os peroneum osificado, lo cual nos permite descartar la idea de que pueda existir relación entre la presencia o ausencia de os peroneum osificado y los ligamentos frenulares ($p < 0,005$).

El conocimiento de la existencia y de la alta frecuencia de estos ligamentos frenulares puede tener importancia clínica. Se ha descrito un signo radiográfico que consiste en la migración proximal del os peroneum más de 10mm en una radiografía lateral o de 20mm o más en una radiografía oblicua. Este signo está asociado a rotura de espesor completo del tendón del peroneo largo (Brigido y cols., 2005). Diversos autores afirman que la migración proximal del os peroneum puede ser un marcador muy útil de disrupción tendinosa tanto en lesiones agudas como crónicas (Mains y Sullivan, 1973; Tehranzadel y cols., 1984; Cachia y cols., 1988; Bianchi y cols., 1991; Blitz y Nemes, 2007; Sammarco y cols., 2010; Vethanayagomy y cols., 2013). Por otro lado, teniendo en cuenta que hemos encontrado ligamentos frenulares en el 59,5% de los especímenes estudiados en nuestra serie, una rotura de tendón de peroneo largo puede estar presente también sin migración proximal del os peroneum debido a la sujeción de éste por parte de los ligamentos frenulares, especialmente si la rotura ocurre distal al os peroneum, como se ha descrito previamente (Peacock y cols., 1990).

Los huesos sesamoideos aparecen generalmente embebidos en tendones y adyacentes a articulaciones o en regiones donde los tendones se angulan sobre superficies óseas. Pueden ocurrir en dos situaciones en el esqueleto: tipo A en el que el tendón del sesamoideo está incorporado en la cápsula articular y formar una extensión de la misma (ej. rótula y sesamoideos del pulgar); tipo B en el que el sesamoideo está localizado donde los tendones angulan sobre superficies óseas estando separado del hueso por una bursa sinovial (ej. sesamoideo del peroneo largo). En ambos tipos el sesamoideo y los tejidos circundantes tienen características de articulación sinovial con las superficies óseas cubiertas por

cartílago hialino y recubiertas por una membrana sinovial, pudiendo participar en procesos patológicos que afecten a dichas articulaciones (Resnick y cols., 1977).

Como se ha descrito previamente en la introducción, el tendón del peroneo largo al entrar en el túnel cuboideo, gira prácticamente en ángulo recto para dirigirse a la superficie plantar del pie actuando como una articulación deslizante (Mann y Haskell, 2007). Tanto en el hueso cuboides en su cara lateral-plantar como en el tendón del peroneo largo, con os peroneum osificado radiológicamente o no, se han encontrado facetas articulares y esta región ha sido descrita como la articulación peroneo-cuboidea (Ebraheim y cols., 1994). En el presente estudio, coincidiendo con hallazgos previos (Le Minor, 1987; Sobel y cols., 1994; Ebraheim y cols., 1999), encontramos faceta articular en la cara lateral del hueso cuboides en todos los casos. Aunque no era uno de los objetivos del presente estudio, no encontramos en ningún caso facetas articulares dobles o divididas en la superficie articular del os peroneum como se ha descrito recientemente (Mittal y cols., 2014).

En su estudio sobre la articulación peroneo-cuboidea Ebraheim y cols. (1999), afirman que la superficie articular del peroneo largo está cubierta con cartílago fibroso/fibrocartílago y el aspecto lateral del cuboides está cubierto con cartílago hialino, coincidiendo con los resultados de nuestro estudio. Otro dato relevante es que la articulación peroneo-cuboidea presenta su propia cápsula. Esta cavidad sinovial no se comunica con la vaina tendinosa proximal del tendón del peroneo largo ni con otras articulaciones tarsianas, insertándose las membranas en las superficies articulares periféricas a la región cartilaginosa del cuboides

(Ebraheim y cols., 1999). Coincidiendo con la descripción de Ebraheim y cols., (1999), tampoco encontramos a nivel proximal comunicación entre la articulación peroneocuboidea y la vaina sinovial tendinosa proximal en ninguno de los casos estudiados ni en la muestra embrionaria/fetal ni en la muestra de pies adultos. Sugieren que dicha articulación puede estar implicada en diversos procesos patológicos como el síndrome del os peroneum doloroso descrito por Sobel y cols. (1994) (Ebraheim y cols.; 1999).

Se ha afirmado que durante el desarrollo embrionario del pie, las articulaciones están formadas inicialmente por condensaciones celulares homogéneas en las zonas entre esbozos óseos condroides. Estas zonas aparecen en el pie en el estadio embrionario 20, en concreto las articulaciones metatarsofalángicas que son las primeras en aparecer. En el estadio 23 muchas de las futuras articulaciones aparecen todavía sin cavidad siendo aún un acúmulo de células (Sarrafian 2012). Durante el tercer mes, entre la séptima y novena semana de gestación, es cuando se ha afirmado que aparecen las cavitaciones en la mayoría de las articulaciones, se rellenan de líquido y el cartílago periférico del esbozo óseo se transforma en cartílago hialino. Es en ese momento cuando se inicia también la contracción muscular, paso clave para el subsiguiente desarrollo normal de las articulaciones (Bernhardt, 1988). Se ha afirmado que puede encontrarse el hueso cuboide como una masa precursora de tipo condroide como muy pronto en el estadio 20 del desarrollo embrionario (Senior 1929, Sarrafian 2012).

Hasta donde sabemos, no existe ningún estudio sobre el desarrollo embriológico/fetal de la articulación peroneocuboidea. En nuestro estudio

observamos que el peroneo largo en el aspecto lateral de la masa cartilaginosa correspondiente al hueso cuboides, pudo ser detectado como una condensación en uno de los embriones en el estadio 21 (24mm; 52 días).

Es en la transición de periodo embrionario a fetal donde pudimos observar por primera vez la formación de una cavitación entre el aspecto medial del tendón del peroneo largo y el aspecto lateral del cuboides (figuras 16 y 17). El momento de aparición de la cavitación peroneocuboidea coincide con el momento que se ha afirmado aparecen las futuras articulaciones en el resto del pie (Bernhardt, 1988). Esta cavitación coincide con la región de la articulación peroneo-cuboidea del adulto. Durante el período fetal dicha cavidad incrementa su tamaño y las membranas que la rodean aumentan su grosor. Coincidiendo con previos autores (Ebraheim y cols. 1999; Mittal y cols., 2014), la articulación peroneo-cuboidea se extendió a nivel proximal hasta la articulación calcáneo-cuboidea y distalmente hasta la inserción del tendón del peroneo largo en la base del primer metatarsiano. La articulación nunca estuvo en contacto con la vaina tendinosa proximal.

Es importante tener en cuenta la existencia de esta articulación puesto que puede estar sujeta a patología diferente a la que afecta a la vaina sinovial proximal. Este detalle morfológico puede ayudar a explicar diferentes situaciones patológicas descritas en esta región que han sido objeto de controversia (Sobel y cols., 1994, Ebraheim y cols. 1999; Maurer y Lehrman, 2012).

Cabe destacar que simultáneamente al desarrollo embrionario de la masa tendinosa, observamos el desarrollo de los ligamentos frenulares. Dichos ligamentos presentaron una apariencia histológica similar al tendón del peroneo largo (figuras 27, 28, 29 y 30). La sección transversal de la masa tendinosa principal no fue homogénea a lo largo de su recorrido, sino que pudimos apreciar un incremento en su anchura a nivel de la articulación peroneo-cuboidea durante el periodo de desarrollo fetal. Este engrosamiento fue parecido en forma, tamaño y localización en el tendón del peroneo largo, al os peroneum observado en adultos. Dicho engrosamiento puede ser considerado como el precursor del os peroneum.

Este hecho tiene que ver con las teorías que existen actualmente al respecto del origen del os peroneum en el ser humano. Existen principalmente la teoría genética y la mecánica. Los huesos sesamoideos pueden derivar de condensaciones embrionarias/fetales de tejidos pre-cartilaginosos como hemos podido observar en las muestras histológicas en la transición del periodo embrionario al fetal (figuras 16 y 17). Se ha afirmado que los sesamoideos aparecen como tejido condensado blastémico a las 8 semanas y como cartílago a las 12 semanas y permanecen en estado cartilaginoso durante todo el periodo prenatal. Únicamente se han descrito dos sesamoideos que están presentes de manera regular durante el desarrollo embrionario fetal, estos son los sesamoideos de la articulación metatarsfalángica del primer dedo. El sesamoideo lateral aparece primero en el tercer mes seguido una semana más tarde por el sesamoideo medial que puede ser bipartito (Sarrafian, 2012). Cabe destacar también que se ha detectado un análogo cartilaginoso del os trigonum,

un sesamoideo en la cara posterior del astrágalo, en fetos de dos meses (Bardeleben, 1885).

No hemos encontrado ninguna referencia respecto a la presencia o desarrollo del os peroneum durante el periodo embrionario o fetal, pero la aparición del precursor del os peroneum en nuestro estudio, embrión estadio 23 y mayores, coincide en el tiempo con la aparición de los sesamoideos del primer dedo y del os trigonum (Sarrafian 2012, Bardeleben, 1885). Diversos autores sugieren que el desarrollo de los huesos sesamoideos está controlado por factores genéticos (Pearson y Davin, 1921; Merida-Velasco y cols., 1997). Varios estudios indican que los genes homeobox y genes de la familia TGF-beta modelan la formación de sesamoideos en ratones (Small y Potter, 1993; Storm y Kingsley 1996).

Se ha sugerido también que la presencia de sesamoideos puede estar relacionada con la artrosis (Carter y cols., 1987). La razón detrás de esta suposición es el hallazgo de una incidencia significativamente superior de fabela (un sesamoideo en la cabeza lateral del músculo gastrocnemio en la cara posterior de la rodilla) en rodillas artrósicas en comparación con rodillas normales (Pritchett, 1984). En esta línea Sarin y cols., (1999) estudiaron si existía relación entre la presencia de fabela y la presencia de os peroneum en una muestra de 112 radiografías. Encontraron una asociación significativa, indicando que los pacientes que presentan os peroneum presentan mayor probabilidad de presentar fabela, lo cual les permite concluir que existe relación entre los factores epigenéticos mecánicos y los genéticos en el origen de los sesamoideos (Sarin y cols., 1999). También se ha afirmado que la artrosis puede influir en el desarrollo de los huesos sesamoideos debido a que pueda existir relación entre la enfermedad

degenerativa articular y el aumento de osificación endocondral (Carter y cols., 1987). Sin embargo, un trabajo posterior estudió si existía relación entre la presencia de os peroneum y la artrosis o la presencia de osteofitos en articulaciones adyacentes del pie (tibiaastragalina, calcáneocuboidea y metatarsofalángica del primer dedo). No encontraron relación entre la presencia de os peroneum y la artrosis concluyendo que sus resultados no descartan la posibilidad de que la formación ósea sesamoidea pueda estar relacionada con razones biomecánicas (Muehleman y cols., 2009).

Otros autores afirman que el tendón del peroneo largo a nivel del túnel cuboideo presenta el cartílago tendinoso más desarrollado comparado con otros 38 regiones tendinosas de la extremidad superior e inferior. Argumentan que el fibrocartílago, que es más resistente que el tejido fibroso tendinoso, es una adaptación a la compresión en tendones que se doblan (Benjamin y Ralphs, 1998). Diversos autores defienden que la condrometaplasia tendinosa y los sesamoideos tienden a desarrollarse dentro de tendones que sufren fuerzas de tensión y sobretodo de compresión (Giori y cols., 1993; Wren y cols., 1998). El tejido fibroso tendinoso forma regiones de fibrocartílago en áreas que contactan con prominencias óseas y están sometidas a cargas compresivas (Vogel y Koob, 1989; Benjamin y cols., 1995).

Apoyando la teoría mecánica sobre el desarrollo del os peroneum, Le Minor (1987) afirma que en los primates primitivos como la familia Cercopithecidae y Hylobatidae, el tendón del peroneo largo actúa como aductor del hallux. La presencia de os peroneum osificado y de articulación peroneo-cuboidea en estas familias es constante. Argumenta que en humanos al haber perdido la oposición

del hallux, se ha perdido el estímulo mecánico que justificaba la presencia del os, lo cual dificulta su formación y su mantenimiento. Estos cambios en las condiciones ambientales pueden promover o inhibir la expresión de capacidades como la osificación de sesamoideos (Carter y cols., 1998). El hecho de que el os peroneum en el humano se encuentre frecuentemente parcialmente osificado y de manera unilateral soporta la teoría de que el os peroneum es un sesamoideo en regresión (Le Minor, 1987). De todas maneras la pregunta de por qué el os peroneum apareció inicialmente en la evolución y desapareció en simios superiores y en el humano no se sabe con certeza. Probablemente esta situación esté influenciada por una combinación de factores mecánicos y cambios en los umbrales genéticos de adaptación funcional (Sarin y cols., 1999).

Es posible que el incremento de solicitaciones mecánicas como por ejemplo el aumento del peso corporal pueda influir en la formación del os peroneum. Aunque Muehleman y cols., (2009) no encontraron relación entre el tamaño corporal y la presencia de os peroneum. Concluyen que no descartan la posible relación ya que carecen de datos como el nivel de actividad deportiva, etc. Se ha afirmado que estreses mecánicos locales como la locomoción y la contracción muscular, afectan y guían el desarrollo de los tejidos de las extremidades, incluyendo los sesamoideos (Carter y cols., 1998).

Se cree que la contracción muscular empieza durante la transición del periodo embrionario al fetal a partir de la 8ª o 9ª semana de gestación (Starck, 1955; Patten, 1968; O'Rahilly y Müller, 1987). Cabe destacar que en el caso de los músculos peroneos, la contracción muscular, gracias a la innervación de L4-L5 y

S1, se inicia entre la 10^a y la 12^a semana de gestación, iniciándose así la progresiva eversión del pie fetal (Bernhardt, 1988).

En nuestro estudio observamos tanto el inicio del desarrollo de la futura articulación peroneo-cuboidea así como los ligamentos frenulares y el engrosamiento del tendón del peroneo largo correspondiente al futuro os peroneum desde el estadio embrionario 23. También pudimos observar su crecimiento y desarrollo a lo largo del periodo fetal. Es decir, antes y durante el inicio de la contracción muscular de los tendones peroneos (Bernhardt 1988).

El presente estudio confirma la existencia y la extensión de la articulación peroneocuboidea previamente descrita en un ambiente intacto, puesto que no se llevó a cabo disección alguna en las muestras embrionarias o fetales (Ebraheim y cols., 1999), y no se han dañado por la adquisición de muestras histológicas.

Según nuestro mejor saber, es el primer estudio en demostrar que el os peroneum, las facetas articulares del peroneo largo y del cuboides, la articulación peroneo-cuboidea y los ligamentos frenulares aparecen durante el periodo embrionario/fetal justo antes de que comience la contracción muscular. Por lo tanto, la presencia del os peroneum y de la articulación peroneocuboidea no puede ser explicada únicamente por el resultado de fuerzas mecánicas relacionadas con la deambulación y la bipedestación, ya que éstas no existen durante la gestación.

La osificación del os peroneum puede estar relacionada con fuerzas mecánicas, pero ni estudios previos ni el presente han podido demostrarlo. Se necesitan

estudios específicos para determinar esta asociación. Parece claro que los factores mecánicos juegan un papel en la regulación epigenética del desarrollo del os peroneum. Sin embargo, los hallazgos del nuestro estudio sugieren que los factores genéticos pueden jugar un papel determinante en la regulación de la formación del os peroneum y de la articulación peroneo-cuboidea y que no se debe exclusivamente a factores mecánicos. Parece que la interacción cercana entre factores intrínsecos genéticos y estímulos externos epigenéticos mecánicos controla en última instancia, el desarrollo y la evolución del os peroneum y de la articulación peroneocuboidea.

7.- CONCLUSIONES

1ª.- La ausencia de os peroneum radiológico no excluye la posibilidad de presentar lesiones pudiendo enmascarar, la presencia de los ligamentos frenulares, la migración proximal del os peroneum en caso de rotura del tendón peroneo largo.

2ª.- La articulación peroneocuboidea es independiente de la vaina sinovial proximal.

3ª.- La articulación se desarrolla en la transición de los periodos embrionario-fetal.

4ª.- Los ligamentos frenulares y el engrosamiento tendinoso precursor del os peroneum se desarrollan en el periodo fetal.

5ª.- El os peroneum, la articulación peroneocuboidea y los ligamentos frenulares no pueden estar generados únicamente por fuerzas asociadas a la deambulación y la bipedestación puesto que estas fuerzas, durante la gestación, no están presentes.

6ª.- La presencia de la articulación peroneocuboidea puede tener implicaciones clínicas puesto que puede presentar patología asociada como cualquier otra articulación de la región del pie y tobillo diferente a la de la vaina sinovial proximal y es importante tenerla en cuenta a la hora de evaluar a pacientes con dolor agudo o crónico en la cara plantar lateral del pie.

8.- BIBLIOGRAFÍA

Bashir WA, Lewis S, Cullen N, Connell DA. Os peroneum friction syndrome complicated by sesamoid fatigue fracture: a new radiological diagnosis? Case report and literature review. *Skeletal Radiol* 2009;38:181-186.

Benninger B, Kloenne J. The clinical importance of the os peroneum: a dissection of 156 limbs comparing incidence rates in cadavers versus chronological roentgenograms. *Foot Ankle Online J* 4, 2011.

Benjamin M, Quin S, Ralphs JR. Fibrocartilage associated with human tendons and their pulleys. *J Anat* 1995;187:625-633.

Benjamin M, Quin S, Ralphs JR. Fibrocartilage associated with human tendons and their pulleys. *J Anat* 1998;193:481-494.

Bessette BJ, Hodge JC. Diagnosis of the acute os peroneum fracture. *Singapore Med J* 1998;39:326-327.

Bernhardt DB. Prenatal and Postnatal Growth and Development of the Foot and Ankle. *Phys Ther* 1998;68:1831-1839.

Bianchi S, Abdelwahab IF, Tegaldo G. Fracture and posterior dislocation of the os peroneum associated with rupture of the peroneus longus tendon. *Can Assoc Radiol J* 1991;42:340-344.

Bizarro AH. On sesamoid and supernumerary bones of the limbs. *J Anat* 1921;55:256-268.

Blitz NM, Nemes KK. Bilateral peroneus longus tendon ruptura through a bipartite os peroneum. *J Foot Ankle Surg* 2007;46:270-277.

Bloom RA. The infracalcaneal os peroneum. *Acta Anat* 1991;140:34-36.

Boehm E. The embryologic origin of club foot. *J Bone Joint Surg* 1929;11:229.

Bohne WH, Lee KT, Peterson MG. Action of the proneus longus tendon on the first metatarsal against metatarsus primus varus force. *Foot Ankle Int* 1997;18:510-512.

Boles MA, Lomasney LM, Demos TC, Sage RA. Enlarged peroneal process with peroneus longus tendon entrapment. *Skeletal Radiol* 1997;26:313-315.

Brandes CB, Smith RW. Characterization of patients with primary peroneus longus tendinopathy: a review of twenty-two cases. *Foot Ankle Int* 2000;21(6):462-468.

Brav EA, Chewning JB. Fracture of the os peroneum: a case report. *Milit Surg* 1949;105:369.

Brigido MK, Fessell DP, Jacobson JA, Widman DS, Craig JG, Jamadar DA, van Holsbeeck MT. Radiography and US of os peroneum fractures and associated peroneal tendon injuries: initial experience. *Radiology* 2005;237:235-241.

Bruce WD, Christofersen MR, Philips DL. Stenosing tenosynovitis and impingement of the peroneal tendons associated with hypertrophy of the peroneal tubercle. *Foot Ankle Int* 1999;20:464-467.

Burman M. Subcutaneous tear of the tendon of the peroneus longus. Its relation to the giant peroneal tubercle. *Arch Surg* 1956;73:216-219.

Burman MS, Lapidus PW. The functional disturbances caused by the inconstant bones and sesamoids of the foot. *Arch Surg* 1931;22:936-975.

Burton SK, Altman MI. Degenerative arthritis of the os peroneum: a case report. *J Am Podiat Med Assn* 1986;76:343-345.

Carter DR, Wong M, Orr TE.. Musculoskeletal ontogeny, phylogeny and functional adaptation. *J Biomech* 1991;24 (Suppl.1):3-16.

Carter DR, Mikic B, Padian K. Epigenetic mechanical factors in the evolution of long bone epiphyses. *Zool J Linn Soc* 1234:163-178.

Carter DR, Orr TE, Fyhrie DP, Schurman DJ. Influences of mechanical stress on prenatal and postnatal skeletal development. *Clin Orthop Relat Res* 1987;219:237-250.

Cachia VV, Grumbine NA, Santoro JP, Sullivan JD. Spontaneous ruptura of the peroneus longus tendon with fracture of the os peroneum. *J Foot Ankle Surg* 1988;27:328-333.

Chadwick C, Highland AM, Hughes DE, Davies MB. The importance of magnetic resonance imaging in a Symptomatic “bipartite” os peroneum: a case report. *J Foot Ankle Surg* 2011;50:82-86.

Cilli F, Akcaoglu M. The incidence of accessory bones of the foot and their clinical significance. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2005;39:243-246.

Coskun N, Yuksel M, Cevener M, Arican RY, Ozdemir H, Bircan O, Sindel T Ilgi S, Sindel M. Incidence of accessory ossicles and sesamoid bones in the feet: a radiographic study of the Turkish subjects. *Surg Radiol Anat* 2009;31:19-24.

Cox D, Paterson FWN. Acute calcific tendinitis of peroneus longus. *J Bone Joint Surg* 1991;73B:342.

Crain MR, El-Khoury GY. Stress fracture of the os peroneum (letter). *AJR* 1989;152:430.

Christman RA. *Foot and Ankle Radiology*, Churchill Livingstone, St. Louis, 2003.

Davies JAK. Peroneal compartment syndrome secondary to rupture of the peroneus longus. *J Bone Joint Surg* 1979;61^a:783-784.

Davis WH, Sobel M, Deland J, Bohne WH, Patel MB. The superior peroneal retinaculum: an anatomic study. *Foot Ankle Int* 1994;15:271-275.

Dombeck MF, Lamm BM, Staltrick K, Mendicino RW, Catanzariti AR. Peroneal tendon tears: a retrospective review. *J Foot Ankle Surg* 2003;42(5):250-258.

Drachman DB, Sokoloff L. The role of movement y embryonic joint development. *Dev Biol* 1966;14:401-420.

Drexler L. Fixation der Sehne der M. Peroneus longus und Os peronaeum. *Acta Anat* 1958;35:345-346.

Edwards M. The relations of the peroneal tendos to the fibula, calcaneus and cuboideum. *Am J Anat* 1988;42:213-253.

Ebraheim NA, Lu J, Haman SP, Yang H, Yeasting RA. Cartilage and synovium of the peroneocuboid joint: an anatomic and histological study. *Foot Ankle Int* 1999;20:108-111.

Evans JD. Subcutaneous rupture of the tendon of peroneus longus. Report of a case. *J Bone Joint Surg* 1966; 48B:597-509.

Fernandes R, Aguilar R, Trudell D, Resnick D. Tendons in the plantar aspect of the foot: MR imaging and anatomic correlation in cadavers. *Skelet Radiol* 2007;36:115-122.

Geller J, Lin S, Cordas D, Vieira P. Relationship of a low-lying muscle belly to tears of the peroneus brevis tendon. *Am J Orthop* 2003;32:541-544.

Giori NJ, Beaupré GS, Carter DR. Cellular shape and pressure may mediate mechanical control of tissue composition in tendons. *J Orthop Res* 1993;11:581-591.

Gökkus K, Sagtas E, Demirci E, Saylik M, Aydin AT. Degenerative arthritis of pseudoarticulation between the os peroneum and cuboid: A rare cause of lateral foot pain. *Foot Ankle Surg* 2015;21(1):e9-e11.

Grinbaum CEA, Vitor de Abreu A, de Aguiar ROC, Gasparetto EL, Koch HA. Radiomorphological study of the peroneus longus tendon adjacent to the cuboid bone. *Radiol Bras* 2009;42(3):151-154.

Grisolia A. Fracture of the os peroneum. *Clin Orthop* 1963;28:213-215.

Hadley HG. Unusual fracture of sesamum peroneum. *Radiology* 1942;38:90.

Heckman DS, Gluck GS, Parekh SG. Tendon disorders of the foot and ankle, part 1, peroneal tendon disorders. *Am J Sports Med.* 2009; 37(3):614-625.

Ho KK, Chan KB, Lui TH, Chow YY. Tendoscopic-assisted repair of complete rupture of the peroneus longus associated with displaced fracture of the os peroneum-case report. *Foot Ankle Int* 2013;34(11):1600-1604.

Hosseini A, Hogg DA. The effects of paralysis on skeletal development in the chick embryo. I. General effects. *J Anat* 1991;177:159-158.

Hogan JF. Fracture of the os peroneum. Case report. *J Am Podiat Med Assn* 1989;79:201-204.

Holland CT. On rarer ossifications seen during x-ray examinations. *J Anat* 1921;55:235-248.

Krause JO, Brodsky JW. Peroneus brevis tendon tears: pathophysiology, surgical reconstruction and clinical results. *Foot Ankle Int* 1998;19(5):271-279.

Kruse RW, Chen J. Accesory bones of the foot: clinical significance *Mil Med* 1995;160:464-467.

Kwak HY, Bae SW. Isolated avulsion fracture at the plantar lateral base of the first metatarsal: a case report. *Foot Ankle Int* 2000;21(10):864-867.

Le Double AF. Traité des variations du système musculaire de l'homme et de leur signification au point de vue de l'anthropologie et zoologique. Schleicher Frères: Paris, 1897.

Le Minor JM. Comparative anatomy and significance of the sesamoid bone of the peroneus longus muscle (os peroneum). *J Anat* 1987;151:85-89.

Leutert G. Über den histologischen Aufbau des Os peroneaum. *Zeitschr mikrosk-anat Forschung* 1958;64, 639-651.

MacDonald BD, Wertheimer SJ. Bilateral os peroneum fractures: comparison of conservative and surgical treatment and outcomes. *J Foot Ankle Surg* 1997;36:220-225.

Mains DB, Sullivan RC. Fracture of the os peroneum. *J Bone Joint Surg* 1973;55:1529-1530.

Mann RA, Haskell A: Biomechanics of the foot and ankle, in Couglin MJ, Mann RA Saltzman CL (eds): *Surgery of the Foot and Ankle*, ed 8. Philadelphia, PA: Mosby Elsevier, 2007, vol 1, pp 3-44.

Manoli A II, Graham B. The subtle cavus foot: "The underpronator". *Foot Ankle Int* 2005;26:256-263.

Maurer M, Lehrman J. Significance of sesamoid ossification in peroneus longus tendon ruptures. *Foot Ankle Surg* 2012;51:352-355.

Merida-Velasco JA, Sanchez-Montesinos I, Espin-Ferra J, Rodriguez-Vazquez JF, Merida-Velasco JR, Jimenez-Collado J. Development of the human knee joint. *Anat Rec* 1997;248:269-278.

Mellado JM, Ramos A, Salvado E, Camins A, Danus M, Sauri A. Accessory ossicles and sesamoid bones of the ankle and foot: imaging findings, clinical significance and differential diagnosis. *Eur Radiol* 2003;13:164-177.

Mittal PS, Joshi SS, Chhaparwal R, Joshi SD. Prevalence and morphometry of os peroneum amongst central Indians. *J Clin Diagn Res* 2014;8(11):AC08-10.

Muehleman C, Williams J, Bareither ML. A radiologic and histologic study of the os peroneum: prevalence, morphology and relationship to degenerative joint disease of the foot and ankle in a cadaveric sample. *Clin Anat* 2009;22:747-754.

Murakami T, Okamura K, Harada S, Setojima M, Ikushiba Y, Miyamoto Y, Li S, Yamada M. Avulsion fracture of peroneus longus at the first metatarsal insertion: a case report. *Br J Sports Med*. 2004;38(4):E13.

O'Donnell P, Saifuddin A. Cuboid oedema due to peroneus longus tendinopathy: a report of four cases. *Skeletal Radiol* 2005;34:381-388.

O'Rahilly R, Müller F. Developmental stages in human embryos. Carnegie Institution of Washington: Washington 1987.

Oh SJ, Kim YH, Kim SK, Kim MW. Painful Os Peroneum Syndrome presenting as lateral plantar foot pain. *Ann Rehabil Med* 2012;36:163-166.

Okazaki K, Nakashima S, Nomura S. Stress fracture of an os peroneum. *J Orthop Trauma* 2003;17:654-656.

Oyedele O, Maseko C, Mkasi N, Mashanyana M. High incidence of the os peroneum in a cadaver sample in Johannesburg, South Africa: possible clinical implications? *Clin Anat* 2006;19:605-610.

Pai VS, Lawson D. Rupture of the peroneus longus tendon. *J Foot Ankle Surg* 1995;34:475-477.

Parsons FG, Keith A. Seventh report of the committee of collective investigation of the Anatomical Society of Great Britain and Ireland, for the year 1896-97. *J Anat* 1897;32:264-186.

Patil V, Frisch NC, Ebraheim NA. Anatomical variations in the insertion of the peroneus (fibularis) longus tendon. *Foot Ankle Int* 2007;28:1179-1182.

Patten BM. Human Embryology, 3rd ed. McGraw-Hill Book Company: New York 1968.

Patterson MJ, Cox WK. Peroneus Longus tendon ruptura as a cause of chronic lateral ankle pain. *Clin Orthop Relat Res* 1999;365:163-166.

Peacock KC, Resnick EJ, Thoder JJ. Fracture of the os peroneum with ruptura of the peroneus longus tendon. *Clin Orthop Relat Res* 1986;202:223-226.

Peacock KC, Resnick EJ, Thoder JJ. Rupture of the peroneus longus tendon. Report of three cases (letter). *J Bone Joint Surg* 1990;72:306.

Pearson K, Davin AG. On the sesamoids of the knee joint. I. Man II. Evolution of the sesamoids. *Biometrika* 1921;13:133-175, 350-400.

Pessina R. Os peroneum fracture. *Clin Orthop Relat Res* 1988;227:261-264.

Peterson DA, Stinson W. Excision of the fractured os peroneum: a report of five patients and review of the literature. *Foot Ankle Int* 1992;13:277-281.

Pfizzner W. Die Sesambeine des menschlichen Körpers. *Morphol Arbeiten* 1892;1:517-762.

Pfizzner W. Die Variationen im Aufbau des Fuss skelets. *Morphol Arbeiten* 1896;6:245-527.

Philbin TM, Landis GS, Smith B. Peroneal tendon injuries. *J Am Acad Orthop Surg*. 2009;17(5):306-317.

Picou R. Insertions inférieures du long peronier lateral. *Bull Assoc Anat (Nancy)* 1894;8:254-259.

Picou R. Insertions inférieures du muscle long péronier lateral. Anomalie de ce muscle. *Bull Assoc Anat (Nancy)* 1894;8:160-164.

Pierson JL, Inglis AE. Stenosing tenosynovitis of the peroneus longus tendon associated with hypertrophy of the peroneal tubercle and the os peroneum. A case report. *J Bone Joint Surg* 1992;74:440-442.

Pritchett JW. The incidence of fabellae in osteoarthritis of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 1984;66:1379-1380.

Rademaker J, Rosenberg ZS, Delfaut EM, Cheung YY, Schweitzer ME. Tear of the peroneus longus tendon: MR imaging features in nine patients. *Radiology* 2000;214:700-704.

Rehman FU. Study of human fetal tali calcaneal articular facets. *International Journal of Development Research* 2014;4(7):1362-1365.

Requejo SM, Kulig K, Thordarson DB. Management of foot pain associated with accessory bones of the foot: two clinical case reports. *J Orthop Sports Phys Ther* 2000;30:580-591.

Resnick D, Niwayama G, Feingold ML. The sesamoid bones of the hand and feet: participators in arthritis. *Radiology* 1977;123:57-62.

Robbins JR, Evanko SP, Vogel KG. Mechanical loading and TGF-beta regulate proteoglycan synthesis in tendon. *Arch Biochem Biophys* 1997;342:203-211.

Sadler TW en Langman. *Embriología Médica con orientación clínica*, ed 9. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2004.

Sammarco GJ. Peroneus longus tendon tears: acute and chronic. *Foot Ankle Int* 1995;16:245-253.

Sammarco VJ, Cuttica DJ, Sammarco GJ. Lasso stitch with peroneal retinaculoplasty for repair of fractured os peroneum: a report of two cases. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468:1012-1017.

Sarin VK, Erickson GM, Giori NJ, Bergman AG, Carter DR. Coincident development of sesamoid bones and clues to their evolution. *Anat Rec* 1999;257:174-180.

Sarrafian SK. Osteology. En: Sarrafian SK (ed) *Anatomy of the Foot and Ankle: Descriptive, Topographic, Functional* ed 2. Lippincott, Philadelphia, 1993, pp 89-112.

Sarrafian SK, Kelikian AS: Development of the Foot and Ankle, en Sarrafian SK (ed): *Sarrafian's Anatomy of the Foot and Ankle: Descriptive, Topographic, Functional*, ed 3. Philadelphia, PA:Lippincott Williams & Wilkins, 2012, p 3-38.

Sarrafian SK, Kelikian AS: Osteology, en Sarrafian SK (ed): *Sarrafian's Anatomy of the Foot and Ankle: Descriptive, Topographic, Functional*, ed 3. Philadelphia, PA: Lippincot Williams & Wilkins, 2012, p 65-71.

Scammon RE, Calkings LA. The Development and Growth of the External Dimensions of the Human Body in the Fetal Period. Minneapolis: University of Minnesota Press; 1929:245-246.

Scheuer L, Black S, Cunningham C: The lower limb, en Scheuer L, Black S Cunningham C (ed): *Developmental Juvenile Osteology*. Academic Press; 2000:439-451.

Senior HD. The chondrification of the human hand and foot skeleton. *Anat Rec* 1929;42:35.

Siecke H. Beitrag zur genese des os peroneum (beobachtungen an 250 röntgenologisch festgestellten ossa peronea). *Zeitschr Orthop Grenzgebiete* 1964;98:358-370.

Small KM, Potter SS. Homeotic transformations and limb defects in Hox A11 mutant mice. *Genes Dev* 1993;7:2318-2328.

Smith JT, Johnson AH, Heckman JD. Nonoperative treatment of an os peroneum fracture in a hig-level athlete: a case report. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469:1498-1501.

Sobel M, Pavlov H, Geppert MJ, Thompson FM, DiCarlo EF, Davis WH. Painful os peroneum syndrome: a spectrum of conditions responsible for plantar lateral foot pain. *Foot Ankle Int* 1994;15:112-124.

Standring S. (Ed.) Foot and ankle. In: *Grays Anatomy: The Anatomical Basis for Clinical Practice*. 39th Ed. New York: Elsevier, Churchill Livingstone, 2005. p 1523.

Starck D. Embriology. Thieme:Stuttgart 1955.

Steel MW, DeOrio JK. Peroneal tendon tears: return to sports after operative treatment. *Foot Ankle Int* 2007;28(1):20-23.

Stieda L. Der M. Peroneus longus un die Fussknochen. *Anat Anz* 12889;4:600-607.

Stockton KG, Brodsky JW. Peroneus longus tears associated with pathology of the os peroneum. *Foot Ankle Int* 2014;35(4):346-352.

Storm EE, Kingsley DM. Joint patterning defects caused by a single and double mutations in members of the BMP family. *Development* 1996;122:3969-3979.

Streeter GL. Developmental horizons in human embryos. *Contrib Embryol* 1945, 1948, 1951;21, 32, 34.

Stropeni L. Frattura isolata di un osso soprannumerario del tarso (os pereoneum externum). *Arch Ital Chir* 1920;2:556-564.

Tehranzadeh J, Stoll DA, Gabriele OM. Posterior migration of the os peroneum of the left foot, indicating a tear of the peroneal tendon. *Skeletal Radiol* 1984;12:44-47.

Thompson FM, Patterson AH. Rupture of the peroneus longus tendon. *J Bone Joint Surg* 1989;71:293-295.

Truong DT, Dussault RG, Kaplan PA. Fracture of the os peroneum and rupture of the peroneus longus tendon as a complication of diabetic neuropathy. *Skeletal Radiol* 1995;24:626-628.

Vethanayagamony T, Patel H, Lomasney L, Demos TC, Rottier FJ. Migration of the os peroneum associated with rupture of the peroneus longus tendon. *Orthopedics* 2013;36(10):741, 807-810.

Vacauwenberghe T, Vanhoenacker FM, Van Den Abbeele K. Painful os peroneum syndrome. *JBR-BTR* 2009;92:232.

Wander DS, Galli K, Ludden JW, Mayer DP. Surgical management of a ruptured peroneus longus tendon with a fractured multipartite os peroneum. *J Foot Ankle Surg* 1994;33:124-128.

Wang XT, Rosenberg ZS, Mechlin MB, Schwetizer ME. Normal variants and diseases of the peroneal tendons and superior peroneal retinaculum:MR imaging features. *Radiographics* 2005;25:587-602.

Wildenauer E, Muller W. Die Sehne des M. Fibularis longus im Bereich des Os cuboides und ihre Beziehungen zu den Fussmuskeln. *Zeitschr Anat Entwicklungsgeschichte* 1951;115:443-451.

Wilson RC, Moyles BG. Surgical treatment of the symptomatic os peroneum. *J Foot Surg* 1987;26:156-158.

Wren TAL, Beaupré GS, Carter DR. Adaptative metaplasia protects tendons from mechanical damage. 1998 Trans ORS 632.

Zgonis T, Jolly GP, Polyzois V, Stamatis ED. Peroneal tendon pathology. *Clin Podiatr Med Surg* 2005;22:79-85.

Zermatten P, Crevoisier X. Avulsion fracture of the peroneus longus tendon insertion at the base of the first metatarsal: report of a case. *Foot Ankle Surg* 2011;17(1):e-10-2. Doi:10.1016/j.fas.2010.07.004.

ANEXO

Publicaciones derivadas de este estudio:

Guimerá V, Lafuente A, Zambrana L, Rodríguez-Niedenführ M, Sañudo JR, Vazquez T. The peroneocuboid joint: morphogenesis and anatomical study. *J Anat* 2015;226(1):104-112.

The peroneocuboid joint: morphogenesis and anatomical study

V. Guimerá,¹ A. Lafuente,^{2*} L. Zambrana,^{2*} M. Rodriguez-Niedenführ,² J. R. Sañudo² and T. Vázquez²

¹Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, Hospital '12 de Octubre', Madrid, Spain

²Department of Human Anatomy and Embryology, School of Medicine, Complutense University of Madrid, Madrid, Spain

Abstract

The peroneocuboid joint, between the peroneus longus tendon and the cuboid bone, has not been anatomically well-defined and no embryological study has been published. Furthermore, the ossification of the os peroneum (a sesamoid inside the peroneus longus tendon) and its associated pathology has been considered to be generated by orthostatic and/or mechanical loads. A light microscopy analysis of serially sectioned human embryonic and fetal feet, the analysis of human adult feet by means of standard macroscopic dissection, X-ray and histological techniques have been carried out. The peroneus longus tendon was fully visible until its insertion in the 1st metatarsal bone already at embryonic stage 23 (56–57 days). The peroneocuboid joint cavity appeared at the transition of the embryonic to the fetal period (8–9th week of gestation) and was independent of the proximal synovial sheath. The joint cavity extended from the level of the calcaneocuboid joint all the way to the insertion of the peroneus longus tendon in the 1st metatarsal bone. The frenular ligaments, fixing the peroneus longus tendon to the 5th metatarsal bone or the long calcaneocuboid ligament, developed in the embryonic period. The peroneus longus tendon presented a thickening in the area surrounding the cuboid bone as early as the fetal period. This thickening may be considered the precursor of the os peroneum and was similar in shape and in size relation to the tendon, to the os peroneum observed in adults. To the best of our knowledge, this is the first study to show that the os peroneum, articular facets of the peroneus longus tendon and cuboid bone, the peroneocuboid joint and the frenular ligaments appear during the embryonic/fetal development period and therefore they can not be generated exclusively by orthostatic and mechanical forces or pathological processes.

Key words: cuboid; foot development; os peroneum; peroneus longus; sesamoid.

Introduction

The anatomy of the area surrounding the lateral aspect of the cuboid bone, where the peroneus longus tendon bends plantarwards and medially towards its insertion in the first metatarsal bone, has been subjected to different types of studies, but the pathological entities reported are still sometimes confusing or controversial (Sobel et al. 1994).

Anatomical and radiological studies have shown that a sesamoid bone, known as the os peroneum, may be present in up to 30% of peroneus longus tendons as either a single

bone, bipartite or multipartite (Pfitzner, 1892, 1896; Bizarro, 1921; Holland, 1921; Burman & Lapidus, 1931; Siecke, 1964; LeMinor, 1987; Cilli & Akcaoglu, 2005; Coskun et al. 2009; Muehleman et al. 2009); anatomical and histological studies have confirmed that up to 55% or more of this sesamoid bone may also present in a non-ossified cartilagenous state (Picou, 1894a; Parsons & Keith, 1897; Drexler, 1958; Leutert, 1958; Benjamin et al. 1995; Benjamin & Ralphs, 1998; Oyedele et al. 2006; Patil et al. 2007). Furthermore, fixing ligaments/bands called frenular ligaments, which extend from the peroneus longus tendon to surrounding tissues, have been described (Stieda, 1889a,b,c; Picou, 1894b; LeDouble, 1897; Wildenauer & Muller, 1951; Drexler, 1958; Patil et al. 2007) and a peroneocuboid joint has even been described (Ebraheim et al. 1999).

The origin of the sesamoid bone or its fibrocartilage substitute has been subject to controversy (LeMinor, 1987) but current opinion is that its origin is related to mechanical forces. In the adult, the tendons of the peroneus longus

Correspondence

Teresa Vázquez, Human Anatomy and Embryology Department, School of Medicine, Complutense University, Ciudad Universitaria s/n 28040 Madrid-Spain

*These authors contributed equally to this work.

Accepted for publication 22 September 2014

Article published online 10 November 2014

are subjected to mechanical forces resulting from muscle contraction and also from the orthostatic pressure exerted by body weight (Leutert, 1960). In contrast, during gestation, the only mechanical forces are those exerted by muscle contraction. Furthermore, it was stated that muscle contraction starts during the 2nd month of pregnancy (Starck, 1955), i.e. at the 8–9th week or beginning of the fetal period of development (Patten, 1968; O’Rahilly & Müller, 1987). To the best of our knowledge, no study of the embryonic–fetal development of this area has been carried out.

Therefore, the aim of the current work was to establish whether the structure of the os peroneum, the peroneocuboid joint and the frenular ligaments are already present in the pre-orthostatic load period, the embryonic–fetal period, and therefore its existence would be determined not only by mechanical forces but perhaps genetically.

Material and methods

Two different human samples were analysed: embryonic/fetal and adult. A total of six embryos (stages 20–22) and 17 fetuses (9–32 weeks) belonging to our department collection were used for this study; they were serially sectioned in different axes and stained with different techniques (Bielschowsky, Haematoxylin-eosin, Azan, Mason’s trichromic, VOF). Embryos were classified according to the stages defined by O’Rahilly & Müller (1987) and fetuses by stages defined by Patten (1968) (Table 1). The sections were analysed with a standard light microscope attached to a digital camera for picture acquisition.

The embryos and fetuses were obtained with parental consent according to current law. A second sample consisting of 38 (18 right, 20 left) (14 male, six female) human adult cadaveric feet with an age ranging between 65 and 90 years (mean age = 79; standard deviation = 7.99) were dissected to study the presence of the anterior and/or posterior frenular ligaments, the presence of a thickening in the peroneus longus tendon and the existence of an articular surface in the cuboid bone. After dissection and documentation, the tendons were removed and subjected to X-ray to differentiate the ossified from the non-ossified os peroneum. The tendons with a non-ossified os peroneum were embedded, sectioned and stained with standard histological techniques (Haematoxylin-eosin, Azan, Mason’s trichromic).

The adults donated their bodies during life according to current regulations for body donation. Statistical comparisons were made using the chi-squared test ($P < 0.005$).

Results

Study of embryos and fetuses

During the embryonic period of development, the peroneus longus tendon on the lateral aspect of the cuboid could be detected in one embryo as early as stage 21 (24 mm; 52 days). It appeared as a condensation next to the cuboid bone (Fig. 1A,B); the cuboid bone at this stage was clearly visible in a form closely similar to the final form in the adult (Fig. 1A). The peroneus longus tendon could not be followed to its final insertion into the first metatarsal bone.

Table 1 Details of the embryos and fetuses included in the current work.

Name	No.	Stage (O’Rahilly & Müller)	C-R length (mm)	Age of gestation (days)
E1	1	Stage 20	21	50–51
E2	1	Stage 21	24	52
E3	1	Stage 22	25	54
E4	1	Stage 22	25	54
E5	1	Stage 22	25	54
E6	1	Stage 22	27	54

Name	No.	Stage (O’Rahilly & Müller)	Patten30 (mm)	Age of gestation (weeks)
F1	1		32	9
F2	1		34	9
F3	1		37	9
F4	2		37	9
F5	1		41	9
F6	2		42	9
F7	1		44	9
F8	2		55	10
F9	2		76	11
F10	2		100	13
F11	2		110	14
F12	2		116	14
F13	1		131	15
F14	2		140	16
F15	1		150	17
F16	1		177	19
F17	1		332	32

No., number of feet studied; C-R, crown–rump length.

Before the end of the embryonic period (stages 23), the peroneus longus tendon could be followed from its origin, all the way until its insertion into the first metatarsal bone in all four embryos (Fig. 1C,D). Afterwards, in the transition from the embryonic to the fetal period of development, the formation of a full cavity could be observed in the medial aspect of the peroneous longus tendon (Fig. 1E,F). This cavity extended to the anterior and posterior borders of the peroneous longus tendon but not to the lateral side of the tendon (Fig. 1E,F). At the beginning of the fetal period (9th week of gestation), the cavity increased in size and came in direct contact with the surface of the cuboid bone (Fig. 1G, H). With increasing age of gestation, the cavity increased in size and the tissue surrounding it increased in thickness. The surface of the cuboid bone facing the peroneous longus tendon was devoid of the normally fibrous tissue surrounding the cuboid bone already in 37-mm fetuses (9 weeks) (Fig. 1I,J). The surface of the peroneus longus tendon facing the cuboid bone presented a clearly differentiated layer of fibrous or fibrocartilaginous tissue already in

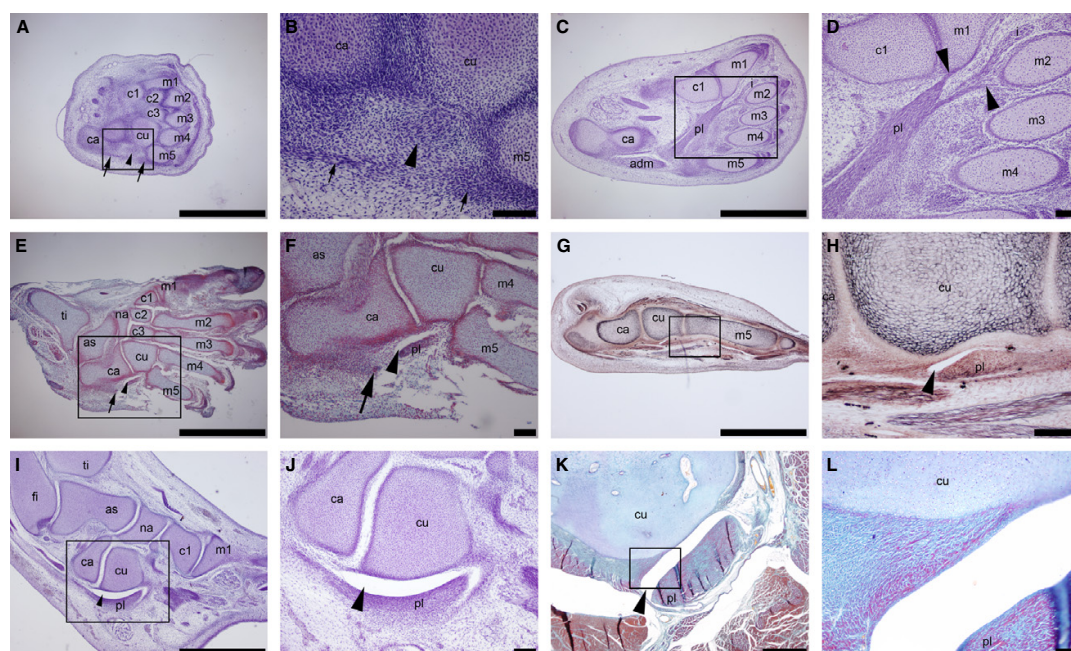


Fig. 1 Developmental stages of the peroneocuboid joint. (A) Stage 21 embryo, note the tendon of the peroneus longus next to the cuboid bone as a tissue condensation (arrowhead). Note also fibres of the developing abductor digiti minimi (arrows). (B) Magnification of the square in (A). (C) Transversal sections of a stage 22 embryo. Note the completed development of the peroneus longus tendon inserting into the metatarsal bone (arrowhead), and additionally into the first interosseous muscle (arrowhead). (D) Magnification of the square in (C). (E) Transversal/oblique section of a late stage 23 embryo showing already a peroneocuboid joint (arrowhead) and a posterior frenular ligament (arrow). (F) Magnification of the square in (E). (G) Sagittal section of a 9-week-old (34-mm) fetus showing the regression of the tissue between the cuboid bone and the peroneus longus tendon. (H) Magnification of the square in (G). (I) Sagittal section of 9-week-old (37-mm) fetus showing the direct contact between the peroneus longus tendon and the cuboid bone (arrowhead). (J) Magnification of the square in (I). (K) Sagittal section of a 17-week-old fetus showing a completed, adult-like peroneocuboid joint (arrowhead). (L) Magnification of the square in (K). Scale bars: 1000 μ m (A,C,E,G,I,K); 100 μ m (B,D,F,H,J,L). Ti, tibia; fi, fibula; as, astragalus; Ca, calcaneus; Cu, cuboid bone; c1-c2-c3, first, second and third cuneiform bones; m1-m5, first to fifth metatarsal bone; pl, peroneus longus tendon; adm, abductor digiti minimi muscle.

150-mm fetuses (17 weeks) and older fetuses (three specimens) (Fig. 1K,L).

Proximally, the peroneocuboid joint extended to the level of the calcaneo-cuboid joint (Fig. 2A,B) and distally, all the way to its insertion into the first metatarsal bone (Fig. 2C, D). This cavity is never in contact with the proximal sinovial sheath (Fig. 2A,B).

The peroneus longus tendon at the level of cuboid bone can be fixed to surrounding tissues by fibrous/tendinous bands termed frenular ligaments (Fig. 3). The anterior frenular ligament joined the peroneus longus tendon to the fifth metatarsal bone (Fig. 3A,B), whereas the posterior frenular ligament joined the peroneus longus tendon to the long calcaneo-cuboid ligament or the lateral and deep fascia of the flexor digitorum brevis muscle (Fig. 3A,C). Additional attachments to the fourth dorsal interosseous or the flexor digiti minimi were observed (Fig. 3A).

The development of these frenular ligaments and additional attachments started simultaneously with the

development of the main tendinous mass. So, at embryonic stage 23 the frenular ligaments were already visible emerging from the anterior or posterior borders of the peroneus longus tendon. During the fetal period these frenular ligaments could be observed increasing in thickness and showing a histological appearance similar to that of the main tendinous mass (Fig. 3D–I). The transversal section of the main tendinous mass was not homogeneous along its course; an increase in width of the tendon at the level of the peroneocuboid joint was detectable (Fig. 3D).

Anatomical, radiological and histological study of adult feet

From the total number of specimens studied, 37 feet (the total sample included 38 feet but one was damaged due to previous dissection and was excluded from the study), only the anterior frenular ligament was present in 29.7% (Fig. 3A), only the posterior frenular ligament in 5.4%

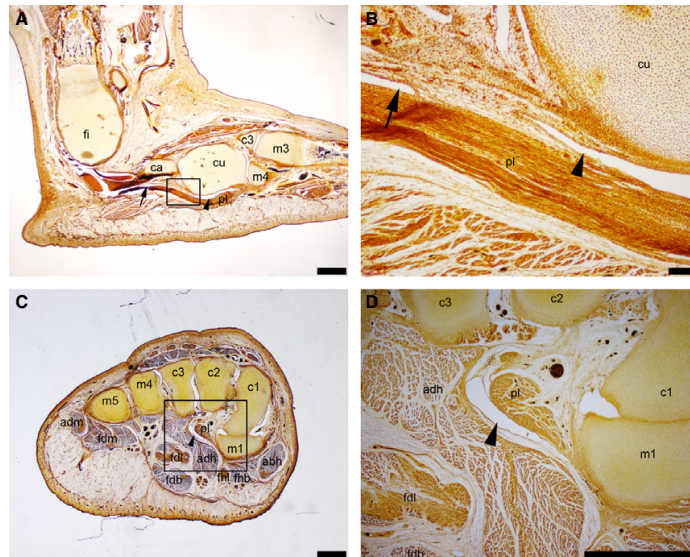


Fig. 2 Limits of the peroneocuboid joint in fetal feet. (A) Sagittal sections; note the separation between the proximal synovial sheath (arrow) and the peroneocuboid joint (arrowhead). (B) Magnification of the square in (A). (C) Frontal sections; note the insertion of the peroneus longus tendon into the first metatarsal head and how the peroneocuboid joints reached to this insertion point (arrowheads). (D) Magnification of the square in (C). Scale bars: 1000 μ m (A,C,D); 100 μ m (B). fi, fibula; Ca, calcaneus; Cu, cuboid bone; c1-c2-c3, first, second and third cuneiform bones; m1–m5, first to fifth metatarsal bone; pl, peroneus longus tendon; adm, abductor digiti minimi muscle; fdm, flexor digiti minimi muscle; fdl, flexor digitorum longus muscle; fdb, flexor digitorum brevis muscle; adh, adductor hallucis muscle; fhl, flexor hallucis longus tendon; fhb, flexor hallucis brevis muscle; abh, abductor hallucis muscle.

(Fig. 3B), and both were present simultaneously in 59.5% (Fig. 3C) (Table 2). The morphology of these ligaments varied from thin fibrous bands to broad and thick expansions to the surrounding structures.

The os peroneum, a sesamoid inside the peroneus longus tendon mass, was present in an ossified state in 29.7% (Fig. 4) and in the remaining cases as a non-ossified state (70.3%), both confirmed macroscopically as a thickening of the peroneus longus tendon and histologically (Fig. 5). The ossified os peroneum showed a range of shapes and sizes and small calcifications were observed in areas outside the tendon bending (Fig. 4).

The chi-squared test showed no correlation between the presence of the frenular ligaments and the presence or absence of an ossified os peroneum ($P < 0.005$) (Table 2).

The histological study confirmed that the non-ossified os peroneum corresponded to an area of fibrous or fibrocartilaginous tissue within the peroneus longus tendon with increased elastic fibres when compared with the structure of the tendon proximally (Fig. 5). Furthermore, a thin fibrous or fibrocartilaginous layer could be detected at its surface in contact with the cuboid bone not only in all adult samples (Fig. 5H) but also in all fetuses older than 17 weeks (Fig. 5D). The cuboid bone presented an articular facet for the peroneus longus tendon in all cases.

Discussion

The type of study carried out in the current work is highly reliable in confirming the existence and extension of the peroneocuboid joint in an undisturbed setting, as no dissection was carried out in the area (Ebraheim et al. 1999) and no disturbances could have been caused by the histological acquisition of samples used. Furthermore, to the best of our knowledge, it is the first study to shown that the peroneocuboid joint is formed during the embryonic period, just when movement has been stated to start (Starck, 1955). The development of this joint is completed during the fetal period. The joint cavity extends proximally to the level of the calcaneo-cuboid joint and distally all the way to the insertion point of the peroneus longus tendon in the first metatarsal bone. It is also demonstrated that this joint is independent from the proximal synovial sheath, as previously reported (Leutert, 1955; Ebraheim et al. 1999); this may have clinical implications in the pathological processes observed in this area. It is therefore important to bear in mind the existence of this joint, as it may be subjected to have a distinct pathology from that affecting synovial sheaths. This morphological detail may explain some of the different pathological situations described in this area and that have remained obscure/controversial.

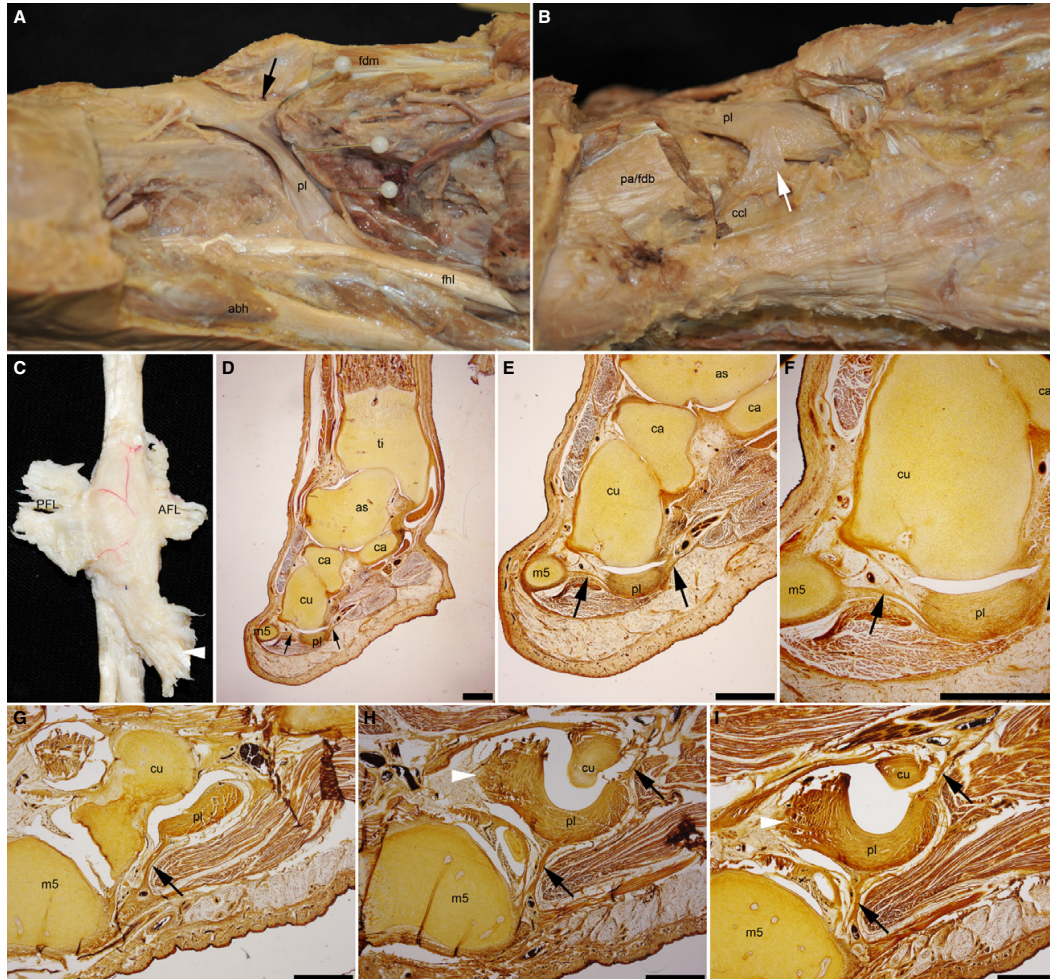


Fig. 3 Morphology of the frenular ligaments. (A) Plantar view of a right adult foot showing an anterior frenular ligament (black arrow) (B) Plantar view of a right adult foot showing a posterior frenular ligament (white arrow). (C) Adult peroneus longus tendon extracted from a right foot showing anterior (AFL) and posterior frenular ligaments (PFL) as well as an additional insertion into the interosseous muscle (white arrowhead). (D-F) Sagittal/oblique section of a fetal foot showing the anterior and posterior frenular ligament (black arrows). (G-I) Serial transversal sections of a fetal foot showing the anterior and posterior frenular ligaments (black arrows) as well as an additional insertion into the interosseous muscle (white arrowhead). Scale bars: 1000 μm (D-I). ti, tibia; Ca, calcaneus; Cu, cuboid bone; m5, fifth metatarsal bone; pl, peroneus longus tendon; fdm, flexor digiti minimi muscle; fdb, flexor digitorum brevis muscle; pa, plantar aponeurosis; ccl, calcaneo-cuboid ligament; fhl, flexor hallucis longus tendon; abh, abductor hallucis muscle.

The current study expands on the former concepts and demonstrates that a fibrous/fibrocartilaginous os peroneum or thickening of the peroneus longus tendon is already present during embryonic and/or fetal development, and therefore its presence in the adult can not be exclusively the result of mechanical forces related to weight-bearing/walking, as these forced do not exist during gestation. The ossification of the os peroneum may be related to

mechanical forces, but neither previous studies nor the current work could elucidate this fact and this remains to be determined with specific studies. A previous radiological study indicated that the ossified os peroneum was more frequently detected radiologically with increasing age (Bizarro, 1921; Siecke, 1964).

The anatomical details of the frenular ligaments or os peroneum found in adults are generally in accordance with

Table 2 Incidence of anterior (AFL) and posterior frenular ligaments (PFL) in association with an ossified or fibrocartilaginous os peroneum (OP).

	No AFL No PFL	AFL	PFL	APF+PFL	Total
Ossified OP	1	2	2	6	11 (29.7%)
Fibrocartilaginous OP	1	9	0	16	26 (70.3%)
Total	2 (5.4%)	11 (29.7%)	2 (5.4%)	22 (59.5%)	37 (100%)

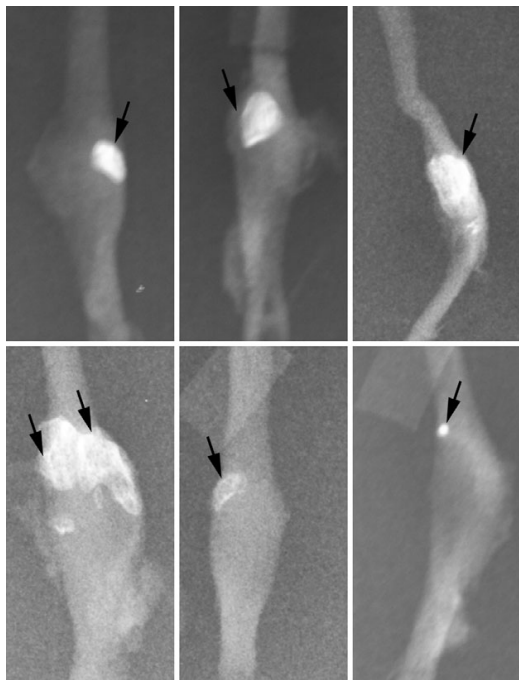


Fig. 4 X-ray caption of isolated adult peroneus longus tendons. Note the variety of sizes and forms as well as location of the ossified/calci-fied tissue.

those previously reported, except for a higher incidence of the posterior frenular ligament and ossified os peroneum than in previous studies (Picou, 1894b; LeDouble, 1897; Patil et al. 2007); this may be explained by the morphology observed, including thin fibrous bands to thick and broad bands, making it therefore difficult to classify them as ligaments or not. The differences regarding the ossified os peroneum may be due to the fact that the X-rays were taken on excised tendons and not on complete feet, and therefore there is no masking of small calcifications as may be found in living subjects (Siecke, 1964), but our results are in overall accordance with those obtained in similar studies (Muehleman et al. 2009).

In contrast to previous works, the current study presents a composite study of all structures, whereas previous work

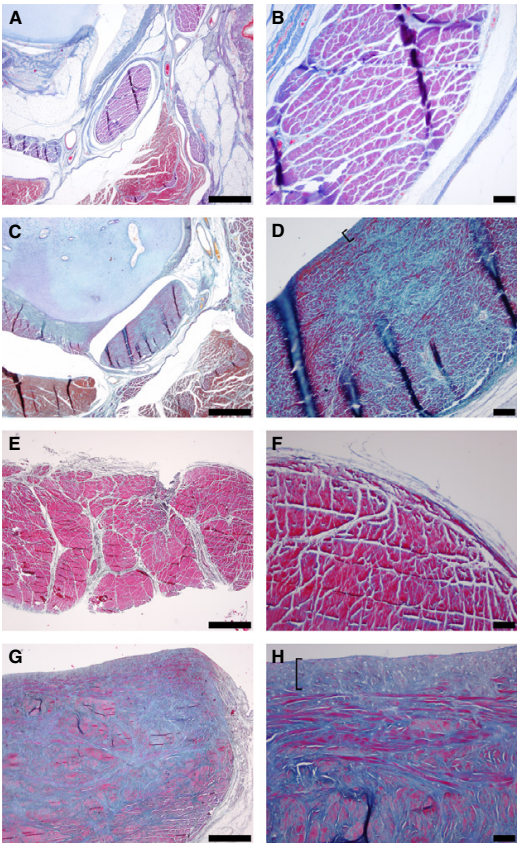


Fig. 5 Histological sections of the peroneus longus tendon proximal to the peroneocuboid joint (A,B,E,F) and at peroneocuboid joint level (C,D,G,H); Fetal (A-D) and adult feet (E-H). Note the increased amount of elastic fibres (blue staining) surrounding the collagen fibres (red staining) in both fetal and adult feet at peroneocuboid level (C,D,G,H) in comparison with the lack of such fibres in the proximal tendon (A, B,E,F). Note also the articular surface of the peroneus longus tendon in the side that faces the cuboid bone (brackets in D and H). Scale bars: 1000 µm (A,C,E,G); 100 µm (B,D,F,H).

only analysed single features. This enabled us to dismiss the idea that a relationship may exist between the presence or absence of an os peroneum and the frenular ligaments (Drexler, 1958).

The high incidence of the different morphological structures (frenular ligaments, ossified and non-ossified os peroneum) described in this study makes them relevant when analysing patients presenting lateral foot pain and should be kept in mind when making diagnosis and decisions on repair of a peroneal tendon rupture.

A clinical sign of peroneus longus tear is the proximal migration of the os peroneum (Mains & Sullivan, 1973; Tehranzadeh et al. 1984; Cachia et al. 1988; Bianchi et al. 1991; Bloom, 1991; Blitz & Nemes, 2007; Sammarco et al. 2010). However, taking into consideration that the frenular ligaments are very common, a peroneus longus tear may be present without migration of the os peroneum, as this may be fixed by the frenular ligaments, especially if the tear occurs distal to the os peroneum, as previously described (Peacock et al. 1990).

The use of magnetic resonance imaging (MRI), single-photon emission computed tomography (SPECT), scintigraphy or ultrasound has proven useful in imaging this area and for differential diagnosis (Crain & El-Khoury, 1989; Lazos, 1995; Rademaker et al. 2000; Okazaki et al. 2003; Brigido et al. 2005; Wang et al. 2005; Zgonis et al. 2005; Fernandes et al. 2007; Sammarco et al. 2010; Sofka et al. 2010; Chadwick et al. 2011). The variety of pathological entities described in this area include fracture of the os peroneum (Stropeni, 1920; Hadley, 1942; Brav & Chewning, 1949; Grisolia, 1963; Peacock et al. 1986; Wilson & Moyles, 1987; Cachia et al. 1988; Pessina, 1988; Hogan, 1989; Peterson & Stinson, 1992; Wander et al. 1994; MacDonald & Wertheimer, 1997; Bessette & Hodge, 1998; Requejo et al. 2000; Okazaki et al. 2003; Smith et al. 2011), hypothetical fracture of the cuboid bone (Haguier, 1937; Ginieys, 1939), peroneus longus tendon rupture (Burman, 1956; Evans, 1966; Davies, 1979; Peacock et al. 1986; Thompson & Patterson, 1989, 1990; Pai & Lawson, 1995; Sammarco, 1995; Truong et al. 1995; Patterson & Cox, 1999; Rademaker et al. 2000), os peroneum friction syndrome (Bashir et al. 2009), degenerative arthritis (Resnick et al. 1977; Burton & Altman, 1986), acute calcific tendinitis of peroneus longus (Cox & Paterson, 1991), peroneus longus stenosing tenosynovitis (Pierson & Inglis, 1992; Bruce et al. 1999), cuboid oedema associated with peroneus longus tendinopathy (O'Donnell & Saifuddin, 2005) and nerve entrapment (Perlman, 1990; Sobel et al. 1994). A painful os peroneum syndrome has been defined (Sobel et al. 1994; Mellado et al. 2003; Vancauwenberghe et al. 2009; Jeppesen et al. 2011), although it was stated that sesamoid bones are only painful if subjected to trauma (Kruse & Chen, 1995).

Acknowledgements

The authors wish to thank Alicia Cerro and María Dolores Arroyo for their excellent technical assistance during the acquisition of histological sections. This research was supported by funds obtained through postgraduate training courses by the UCM920547 Group.

Author contributions

Study design: M. Rodríguez-Niedenführ, V. Guimera and T. Vazquez. Acquisition of data: A. Lafuente, L. Zambrana, V. Guimera. Data interpretation: J. R. Sanudo, M. Rodríguez-Niedenführ, A. Lafuente, L. Zambrana, V. Guimera and T. Vazquez. Drafting of the manuscript: M. Rodríguez-Niedenführ, T. Vázquez, J. R. Sanudo. Critical revision of the manuscript: M. Rodríguez-Niedenführ, T. Vázquez. Approval of the article: V. Guimerá, A. Lafuente, L. Zambrana, M. Rodríguez-Niedenführ, J. R. Sañudo and T. Vazquez.

References

- Bashir WA, Lewis S, Cullen N, et al. (2009) Os peroneum friction syndrome complicated by sesamoid fatigue fracture: a new radiological diagnosis? Case report and literature review. *Skeletal Radiol* **38**, 181–186.
- Benjamin M, Ralphs JR (1998) Fibrocartilage in tendons and ligaments – an adaptation to compressive load. *J Anat* **193**, 481–494.
- Benjamin M, Qin S, Ralphs JR (1995) Fibrocartilage associated with human tendons and their pulleys. *J Anat* **187**, 625–633.
- Bessette BJ, Hodge JC (1998) Diagnosis of the acute os peroneum fracture. *Singapore Med J* **39**, 326–327.
- Bianchi S, Abdelwahab IF, Tegaldo G (1991) Fracture and posterior dislocation of the os peroneum associated with rupture of the peroneus longus tendon. *Can Assoc Radiol J* **42**, 340–344.
- Bizarro AH (1921) On sesamoid and supernumerary bones of the limbs. *J Anat* **55**, 256–268.
- Blitz NM, Nemes KK (2007) Bilateral peroneus longus tendon rupture through a bipartite os peroneum. *J Foot Ankle Surg* **46**, 270–277.
- Bloom RA (1991) The infracalcaneal os peroneum. *Acta Anat* **140**, 34–36.
- Brav EA, Chewning JB (1949) Fracture of the os peroneum: a case report. *Milit Surg* **105**, 369.
- Brigido MK, Fessell DP, Jacobson JA, et al. (2005) Radiography and US of os peroneum fractures and associated peroneal tendon injuries: initial experience. *Radiology* **237**, 235–241.
- Bruce WD, Christofersen MR, Phillips DL (1999) Stenosing tenosynovitis and impingement of the peroneal tendons associated with hypertrophy of the peroneal tubercle. *Foot Ankle Int* **20**, 464–467.
- Burman M (1956) Subcutaneous tear of the tendon of the peroneus longus. Its relation to the giant peroneal tubercle. *Arch Surg* **73**, 216–219.
- Burman MS, Lapidus PW (1931) The functional disturbances caused by the inconstant bones and sesamoids of the foot. *Arch Surg* **22**, 936–975.
- Burton SK, Altman MI (1986) Degenerative arthritis of the os peroneum: a case report. *J Am Podiatr Med Assoc* **76**, 343–345.
- Cachia VV, Grumbine NA, Santoro JP, et al. (1988) Spontaneous rupture of the peroneus longus tendon with fracture of the os peroneum. *J Foot Ankle Surg* **27**, 328–333.
- Chadwick C, Highland AM, Hughes DE, et al. (2011) The importance of magnetic resonance imaging in a symptomatic 'bipartite' os peroneum: a case report. *J Foot Ankle Surg* **50**, 82–86.

- Cilli F, Akcaoglu M (2005) The incidence of accessory bones of the foot and their clinical significance. *Acta Orthop Traumatol Turc* 39, 243–246.
- Coskun N, Yuksel M, Cevener M, et al. (2009) Incidence of accessory ossicles and sesamoid bones in the feet: a radiographic study of the Turkish subjects. *Surg Radiol Anat* 31, 19–24.
- Cox D, Paterson FWN (1991) Acute calcific tendinitis of peroneus longus. *J Bone Joint Surg* 73B, 342.
- Crain MR, El-Khoury GY (1989) Stress fracture of the os peroneum (letter). *AJR Am J Roentgenol* 152, 430.
- Davies JAK (1979) Peroneal compartment syndrome secondary to rupture of the peroneus longus. *J Bone Joint Surg* 61A, 783–784.
- Drexler L (1958) Fixation der Sehne der *M. peroneus longus* und Os peroneum. *Acta Anat* 35, 345–346.
- Ebraheim NA, Lu J, Haman SP, et al. (1999) Cartilage and synovium of the peroneocuboid joint: an anatomic and histological study. *Foot Ankle Int* 20, 108–111.
- Evans JD (1966) Subcutaneous rupture of the tendon of peroneus longus. Report of a case. *J Bone Joint Surg* 48B, 507–509.
- Fernandes R, Aguiar R, Trudell D, et al. (2007) Tendons in the plantar aspect of the foot: MR imaging and anatomic correlation in cadavers. *Skeletal Radiol* 36, 115–122.
- Ginieys L (1939) Fracture isolée d'un os surnuméraire du tarse (os peroneum). Traitement par l'infiltration novocainique. *Rev Orthop* 26, 243–247.
- Grisolia A (1963) Fracture of the os peroneum. *Clin Orthop* 28, 213–215.
- Hadley HG (1942) Unusual fracture of sesamum peroneum. *Radiology* 38, 90.
- Haguiier P (1937) Fracture isolée d'un osélet surnuméraire du tarse (os peroneum). *Rev Orthop* 24, 356–362.
- Hogan JF (1989) Fracture of the os peroneum. Case report. *J Am Podiatr Med Assoc* 79, 201–204.
- Holland CT (1921) On rarer ossifications seen during x-ray examinations. *J Anat* 55, 235–248.
- Jeppesen JB, Jensen FK, Falborg B, et al. (2011) Bone scintigraphy in painful os peroneum syndrome. *Clin Nucl Med* 36, 209–211.
- Kruse RW, Chen J (1995) Accessory bones of the foot: clinical significance. *Mil Med* 160, 464–467.
- Lazos EA (1995) Commentaries on 'Rupture of the peroneus longus tendon by Pai VS, Lawson D'. *J Foot Ankle Surg* 34, 510.
- LeDouble AF (1897) *Traité des variations du système musculaire de l'homme et de leur signification au point de vue de l'anthropologie et zoologique*. Paris: Schleicher Frères.
- LeMinor JM (1987) Comparative anatomy and significance of the sesamoid bone of the peroneus longus muscle (os peroneum). *J Anat* 151, 85–99.
- Leutert G (1955) Über den Bau der Sehne des *M. fibularis longus* im Bereich des äusseren Fussrandes. *Z Mikrosk Anat Forsch* 61, 512–532.
- Leutert G (1958) Über den histologischen Aufbau des Os peroneum. *Z Mikrosk Anat Forsch* 64, 639–651.
- Leutert G (1960) Über die Entwicklung der Struktur der Sehne des Musculus peroneus longus. *Anat Anz* 108, 90–95.
- MacDonald BD, Wertheimer SJ (1997) Bilateral os peroneum fractures: comparison of conservative and surgical treatment and outcomes. *J Foot Ankle Surg* 36, 220–225.
- Mains DB, Sullivan RC (1973) Fracture of the os peroneum. *J Bone Joint Surg* 55A, 1529–1530.
- Mellado JM, Ramos A, Salvado E, et al. (2003) Accessory ossicles and sesamoid bones of the ankle and foot: imaging findings, clinical significance and differential diagnosis. *Eur Radiol* 13, 164–177.
- Muehleman C, Williams J, Bareither ML (2009) A radiologic and histologic study of the os peroneum: prevalence, morphology, and relationship to degenerative joint disease of the foot and ankle in a cadaveric sample. *Clin Anat* 22, 747–754.
- O'Donnell P, Saifuddin A (2005) Cuboid oedema due to peroneus longus tendinopathy: a report of four cases. *Skeletal Radiol* 34, 381–388.
- Okazaki K, Nakashima S, Nomura S (2003) Stress fracture of an os peroneum. *J Orthop Trauma* 17, 654–656.
- O'Rahilly R, Müller F (1987) *Developmental Stages in Human Embryos*. Washington, DC: Carnegie Institution of Washington.
- Oyedele O, Maseko C, Mkasi N, et al. (2006) High incidence of the os peroneum in a cadaver sample in Johannesburg, South Africa: possible clinical implications? *Clin Anat* 19, 605–610.
- Pai VS, Lawson D (1995) Rupture of the peroneus longus tendon. *J Foot Ankle Surg* 34, 475–477.
- Parsons FG, Keith A (1897) Seventh report of the committee of collective investigation of the Anatomical Society of Great Britain and Ireland, for the year 1896–97. *J Anat* 32, 164–186.
- Patil V, Frisch NC, Ebraheim NA (2007) Anatomical variations in the insertion of the peroneus (fibularis) longus tendon. *Foot Ankle Int* 28, 1179–1182.
- Patten BM (1968) *Human Embryology*, 3rd edn. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Patterson MJ, Cox WK (1999) Peroneus longus tendon rupture as a cause of chronic lateral ankle pain. *Clin Orthop Relat Res* 365, 163–166.
- Peacock KC, Resnick EJ, Thoder JJ (1986) Fracture of the os peroneum with rupture of the peroneus longus tendon. *Clin Orthop Relat Res* 202, 223–226.
- Peacock KC, Resnick EJ, Thoder JJ (1990) Rupture of the peroneus longus tendon. Report of three cases (letter). *J Bone Joint Surg* 72A, 306.
- Perlman MD (1990) Os peroneum fracture with sural nerve entrapment neuritis. *J Foot Ankle Surg* 29, 119–121.
- Pessina R (1988) Os peroneum fracture. *Clin Orthop Relat Res* 227, 261–264.
- Peterson DA, Stinson W (1992) Excision of the fractured os peroneum: a report of five patients and review of the literature. *Foot Ankle Int* 13, 277–281.
- Pfützner W (1892) Die Sesambeine des menschlichen Körpers. *Morphol Arbeiten* 1, 517–762.
- Pfützner W (1896) Die Variationen im Aufbau des Fuss skelets. *Morphol Arbeiten* 6, 245–527.
- Picou R (1894a) Insertions inférieures du long peronier lateral. *Bull Assoc Anat (Nancy)* 8, 254–259.
- Picou R (1894b) Insertions inférieures du muscle long péronier lateral. Anomalie de ce muscle. *Bull Assoc Anat (Nancy)* 8, 160–164.
- Pierson JL, Inglis AE (1992) Stenosing tenosynovitis of the peroneus longus tendon associated with hypertrophy of the peroneal tubercle and the os peroneum. A case report. *J Bone Joint Surg* 74A, 440–442.
- Rademaker J, Rosenberg ZS, Delfaut EM, et al. (2000) Tear of the peroneus longus tendon: MR imaging features in nine patients. *Radiology* 214, 700–704.

- Requejo SM, Kulig K, Thordarson DB (2000) Management of foot pain associated with accessory bones of the foot: two clinical case reports. *J Orthop Sports Phys Ther* **30**, 580–591.
- Resnick D, Niwayama G, Feingold ML (1977) The sesamoid bones of the hand and feet: participants in arthritis. *Radiology* **123**, 57–62.
- Sammarco GJ (1995) Peroneus longus tendon tears: acute and chronic. *Foot Ankle Int* **16**, 245–253.
- Sammarco VJ, Cuttica DJ, Sammarco GJ (2010) Lasso stitch with peroneal retinaculoplasty for repair of fractured os peroneum: a report of two cases. *Clin Orthop Relat Res* **468**, 1012–1017.
- Siecke H (1964) Beitrag zur Genese des Os peroneum (Beobachtungen an 250 röntgenologisch festgestellten Ossa peronea). *Z Orthop Grenzgebiete* **98**, 358–370.
- Smith JT, Johnson AH, Heckman JD (2011) Nonoperative treatment of an os peroneum fracture in a high-level athlete: a case report. *Clin Orthop Relat Res* **469**, 1498–1501.
- Sobel M, Pavlov H, Geppert MJ, et al. (1994) Painful os peroneum syndrome: a spectrum of conditions responsible for plantar lateral foot pain. *Foot Ankle Int* **15**, 112–124.
- Sofka CM, Adler RS, Saboeiro GR, et al. (2010) Sonographic evaluation and sonographic-guided therapeutic options of lateral ankle pain: peroneal tendon pathology associated with the presence of an os peroneum. *HSS J* **6**, 177–181.
- Starck D (1955) *Embryology*. Stuttgart: Thieme.
- Stieda L (1889a) Der *M. peroneus longus* und die Fussknochen. *Anat Anz* **4**, 600–607.
- Stieda L (1889b) Der *M. peroneus longus* und die Fussknochen. *Anat Anz* **4**, 624–640.
- Stieda L (1889c) Der *M. peroneus longus* und die Fussknochen. *Anat Anz* **4**, 652–661.
- Stropeni L (1920) Frattura isolata di un osso soprannumerario del tarso (os peroneum externum). *Arch Ital Chir* **2**, 556–564.
- Tehranzadeh J, Stoll DA, Gabriele OM (1984) Posterior migration of the os peroneum of the left foot, indicating a tear of the peroneal tendon. *Skeletal Radiol* **12**, 44–47.
- Thompson FM, Patterson AH (1989) Rupture of the peroneus longus tendon. *J Bone Joint Surg* **71A**, 293–295.
- Thompson FM, Patterson AH (1990) Rupture of the peroneus longus tendon. Report of three cases (letter). *J Bone Joint Surg* **72A**, 306–307.
- Truong DT, Dussault RG, Kaplan PA (1995) Fracture of the os peroneum and rupture of the peroneus longus tendon as a complication of diabetic neuropathy. *Skeletal Radiol* **24**, 626–628.
- Vancauwenberghe T, Vanhoenacker FM, Van Den Abbeele K (2009) Painful os peroneum syndrome. *JBR-BTR* **92**, 232.
- Wander DS, Galli K, Ludden JW, et al. (1994) Surgical management of a ruptured peroneus longus tendon with a fractured multipartite os peroneum. *J Foot Ankle Surg* **33**, 124–128.
- Wang XT, Rosenberg ZS, Mechlin MB, et al. (2005) Normal variants and diseases of the peroneal tendons and superior peroneal retinaculum: MR imaging features. *Radiographics* **25**, 587–602.
- Wildenauer E, Muller W (1951) Die Sehne des *M. fibularis longus* im Bereich des Os cuboides und ihre Beziehungen zu den kurzen Fussmuskeln. *Z Anat Entwicklungsgesch* **115**, 443–451.
- Wilson RC, Moyles BG (1987) Surgical treatment of the symptomatic os peroneum. *J Foot Surg* **26**, 156–158.
- Zgonis T, Jolly GP, Polyzois V, et al. (2005) Peroneal tendon pathology. *Clin Podiatr Med Surg* **22**, 79–85.